

Aktives Lernen mit multiplen Repräsentationen

-

**Zur Vermittlung komplexer physikalischer Inhalte mit
Texten, Bildern, Animationen und Simulationen**

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Erziehungswissenschaften (Dr. paed.)
der Pädagogischen Hochschule Ludwigsburg

vorgelegt von Thomas Rubitzko aus Stuttgart

Ludwigsburg
2006

Erstgutachter: Prof. Dr. Raimund Girwidz

Zweitgutachter: Prof. Dr. Christoph von Rhöneck

Datum des Abschlusses der mündlichen Prüfung: 26.Juli 2006

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	3
Dank	7
Vorwort	9
1 Zielsetzung der Arbeit	11
2 Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien	15
2.1 Inhaltliche Aspekte	16
2.2 Didaktische Relevanz und Ziele	21
2.3 Struktur der Inhalte und deren Abbildung im Medium	23
2.4 Vereinfachung	24
3 Fotografieren	31
3.1 Inhaltliche Aspekte	31
3.2 Didaktische Relevanz und Ziele	38
3.3 Struktur der Inhalte und deren Abbildung im Medium	41
3.4 Vereinfachung	44
4 Didaktische Ansätze	49
4.1 Fächerübergreifendes Lernen	49
4.2 Lernen komplexer Zusammenhänge mit Alltagsbezug	51
4.3 Ansätze situierten Lernens	52
5 Kognitionspsychologische Begriffe	57
5.1 Gedächtnis	57
5.2 Interne Repräsentationen des Wissens	59
5.3 Veränderung von Wissen	64
6 Das besondere Potential von Multimedia	65
6.1 Multimedia	65
6.2 Multimodalität	66
6.3 Multicodierung	66
6.4 Interaktivität	67
6.5 Dynamik	68

7	Theorien und Modelle zur Informationsverarbeitung	69
7.1	Theorie zum Lernen mit Multimedia	69
7.2	Modell zum Text- und Bildverstehen	71
7.3	Cognitive load theory	73
7.4	Einflussfaktoren zur Informationsverarbeitung	77
8	Darstellungsformen	79
8.1	Einteilung der Darstellungsformen	79
8.2	Bilder	81
8.3	Texte	90
8.4	Text- Bild-Kombinationen	92
8.5	Bildhafte dynamische Darstellungen	97
8.6	Interaktiv-bildhaft- dynamische Darstellungen	105
8.7	Multiple Repräsentationen	108
8.8	Gestaltung der virtuellen Kamera	114
9	Aktivität im Lernprozess	119
9.1	Aktivität beim Lernen	119
9.2	Empirische Ergebnisse zur Aktivität beim Lernen	120
9.3	Interaktivität und Aufgaben fördern lernwirksame Aktivität	122
9.4	Schwerpunkte der Unterstützung zum aktiven Lernen	128
10	Einflüsse individueller Unterschiede der Lernenden	135
10.1	Anpassung an individuelle Unterschiede	135
10.2	Personenbezogene Einflussfaktoren auf den Lernerfolg	136
10.3	Themenspezifisches und fachmethodisches Vorwissen	139
10.4	Wechselwirkung zwischen Vorwissen und Darstellungen	141
10.5	Wechselwirkung zwischen Vorwissen und Instruktion	145
11	Zentrale Fragen und Aufbau der Studie	147
12	Evaluation des Lernangebots „Leben im Winter“	149
12.1	Fragestellungen	149
12.2	Studiendesign	150
12.3	Ablauf des Treatments	151

Inhaltsverzeichnis	5
--------------------	---

12.4	Operationalisierung der Messgrößen	152
12.5	Statistische Verfahren	154
12.6	Ergebnisse	157
12.7	Diskussion	162
13	Evaluation des Lernangebots „virtuelle Kamera“	167
13.1	Konkrete Fragestellungen	167
13.2	Studiendesign	168
13.3	Ablauf des Treatments	169
13.4	Operationalisierung	170
13.5	Statistische Verfahren	173
13.6	Ergebnisse	176
13.7	Diskussion	179
13.8	Konsequenzen für das Programm	182
13.9	Die virtuelle Kamera im regulären Physikunterricht	183
14	Zusammenfassung	187
15	Literatur	191
	Tabellenverzeichnis	209
	Abbildungsverzeichnis	211
	Anhang	215

Dank

Danken möchte ich allen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Mein besonderer und vor allem herzlicher Dank gilt dabei Prof. Dr. Raimund Girwidz, der nicht nur die Arbeit in allen Phasen engagiert unterstützt hat, sondern den ich vor allem als stets offenen und fairen Ansprechpartner erlebt habe. Einen herzlichen Dank auch an Prof. Dr. Christoph von Rhöneck für die Übernahme des Zweitgutachtens. Auch ohne die anderen Doktoranden des Forschungs- und Nachwuchskollegs „Fachintegratives Lernen mit digitalen Medien“ Steffen Schaal, Christian Spannagel und Marcus Vogel wäre diese Arbeit nicht vorstellbar gewesen. Bei ihnen bedanke ich mich für die sehr freundschaftliche, intensive Zusammenarbeit und für manche konstruktive Kritik. Überdies gilt mein Dank den Schulleiterinnen und Schulleitern, Lehrerinnen und Lehrern, Schülerinnen und Schülern, die den empirischen Teil dieser Arbeit ermöglicht haben. Dem Land Baden-Württemberg, das die gesamte Finanzierung des Projekts „Fachintegratives Lernen mit digitalen Medien“ übernommen hat, danke ich für diese Unterstützung. Ohne sie wäre diese Arbeit sicher nicht zu Stande gekommen.

Vorwort

Mit multiplen Repräsentationen aktives Lernen komplexer Inhalte zu ermöglichen heißt - sehr einfach gesagt - bildhafte und textgebundene Darstellungen so zu gestalten, dass diese ohne Schwierigkeiten verarbeitet werden können. Hilfreich sind eine schlichte klare Sprache, übersichtliches Design, verständliche Bilder und eine nachvollziehbare Struktur. Dies war auch Zielsetzung für die Gestaltung dieser Arbeit selbst. Die reichhaltige Bebilderung der Arbeit ergab sich aus der Themenstellung und soll möglichst informativ sein. Dabei sind bis auf die gekennzeichneten Bilder alle vom Verfasser selbst gestaltet. Die Bilder konnten allerdings nicht immer eins zu eins aus der Lernumgebung übernommen werden, da Multimediadarstellungen auch Möglichkeiten der Interaktivität und der Dynamik und schließlich Ton beinhalten. Deshalb ist es notwendig, die angesprochenen Programme auf einem Computer zu installieren und zu verwenden, um sich einen weitergehenden Eindruck zu ihrer Gestaltung machen zu können. Im Anhang befindet sich zu diesem Zweck eine CD mit der beschriebenen Software. Die Software wird installiert, indem man die Datei „setup.exe“ auf der CD ausführt. Anschließend können die Programme über das Startmenü aufgerufen werden.

Thomas Rubitzko

1 Zielsetzung der Arbeit

Ein Dialog charakterisiert den wissenschaftlichen Diskurs zur Lernwirksamkeit des Computers Anfang der 90er Jahre besonders prägnant. Auf die Frage Kozmas (1991, S. 179) „Do media influence learning?“ antwortet Clark (1994, S. 91) drei Jahre später „Media will never influence learning!“. Dies war aber keinesfalls das Ende einer wissenschaftlichen Beschäftigung mit diesem Thema, sondern vielmehr ein Anlass zu dessen Präzisierung. So ist der Grund von Clarks Äußerung nicht etwa die generelle Kritik am Einsatz des Computers. Vielmehr beurteilt er jenen Teil der empirischen Forschung kritisch, der Medienvergleiche betreibt, weil mit den Medien auch die methodischen Besonderheiten einhergehen, welche die Forschungsergebnisse ebenfalls beeinflussen. So fordert auch Kozma (1994) schließlich einen Paradigmenwechsel von der Frage nach dem generellen Einfluss des Mediums auf das Lernen hin zur Frage „Wie können wir die besonderen Eigenschaften eines Mediums nutzen, um für bestimmte Lernende, Aufgaben und Situationen das Lernen zu beeinflussen?“ (Kozma, 1994, S. 18 übersetzt vom Autor).

Im Rahmen des FuN-Kollegs Film - Forschungs- und Nachwuchskolleg „Fachintegratives Lernen mit digitalen Medien“ - wurde das Thema Konzeption, Implementierung und Evaluation eines mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts mit Beiträgen der Informatik nicht zuletzt unter dieser Fragestellung beleuchtet.

Dazu sollten Naturphänomene aus der Lebenswelt der Lernenden mit Fachmethoden aus den genannten Wissenschaften behandelt werden. Die eingesetzten Medien sollen dazu beitragen, diese Inhalte zu beschreiben, zu veranschaulichen, zu erfassen und zu verstehen. Dieses Vorgehen lässt sich theoretisch begründen.

So soll fächerübergreifender naturwissenschaftlicher Unterricht Konzepte aus vielfältigen Perspektiven mit Bezügen zum alltäglichen Leben aufbauen und eine integrierte naturwissenschaftliche Methodenkompetenz vermitteln. Ansätze hierzu finden sich beispielsweise bei Labudde (2003) sowie bei Reinhold & Bündler (2001).

Eine Spezifizierung auf Inhalte aus zwei Themenkreisen, nämlich Energie, Wärme und Wechselwirkungen in komplexen Ökosystemen sowie Inhalte aus der Optik, wie beispielsweise Fotografieren, bieten sich für diese Zielsetzung an.

Dabei weisen Inhalte, die für diese Form des Unterrichts in Frage kommen, eine komplexe Sachstruktur auf. Speziell für den Erwerb von Wissen aus komplexen Inhaltsgebieten, das in unterschiedlichen Situationen zugänglich und einsetzbar sein soll, bietet die Theorie der kognitiven Flexibilität (Spiro, Coulson, Feltovich & Anderson, 1988 sowie Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson, 1992) einen konkreten Rahmen. Zwei Grundelemente dieser Theorie sind die Förderung aktiven Lernens und das Anbieten vielfältiger Repräsentationsformen.

Einige Untersuchungen geben Anlass zur Vermutung, dass gerade das Lernen mit verschiedenen Repräsentationen wie Film, Animation, Simulation oder Bild-Text-Kombination unterschiedliche Zugangswege zu Konzepten ermöglicht. Einen Überblick hierzu gibt beispielsweise Ainsworth (1999). Aber sowohl die verschiedenen Repräsentationsformen als auch wirklichkeitsnahe Beispiele können aufgrund ihrer Komplexität überfordern. Deshalb ist ebenso auf ein angemessenes Design des Informationsangebots selbst als auch der begleitenden Instruktion zu achten. Die cognitive load theory (Chandler & Sweller, 1991) sowie die generative Theorie zum Lernen mit Multimedia (Mayer 1997, 2001) bieten hier konkrete und ausführlich erläuterte Designkriterien an, wie sowohl das Medium selbst als auch die Instruktion zum Medium zu gestalten sind. Dabei wird auch betont, wie wichtig das Vorwissen der Lerngruppe ist: So war eine wichtige Zielsetzung des Forschungsprogramms die inhaltsbezogenen Leistungsgrenzen zu spezifizieren und abgestimmte Hilfsmittel für den Computereinsatz bereitzustellen.

Hier ist nicht nur die Gestaltung der einzelnen Repräsentationen und der gesamten Lernumgebung bezüglich der Minimierung der kognitiven Belastung wichtig. Es geht vielmehr auch darum, die freiwerdenden kognitiven Ressourcen zur möglichst tiefen Verarbeitung der Informationen aus den externen Repräsentationen zu nutzen

und diese durch angemessene Hilfsmittel zu unterstützen. Zusammenfassend kann also gesagt werden:

Die Arbeit soll aufzeigen, wie eine für den Leistungsstand der Lernenden angemessene Unterstützung zum aktiven Lernen mit verschiedenen Repräsentationen aussehen kann. Dann soll untersucht werden, ob und in welcher Weise durch das Anbieten multipler Repräsentationen kognitive Flexibilität in zwei komplexen Themengebieten, nämlich Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien von Tieren und Optik im Kontext von Fotografieren, unterstützt werden kann. Dabei soll auch deutlich werden, wo die Grenzen liegen und wo weitere Unterstützung durch zusätzliche Maßnahmen im Unterricht erfolgen sollte.

Die folgende Arbeit zeigt nun die Grundlagen der Entwicklung der Software auf und dokumentiert deren empirische Überprüfung. Im Einzelnen werden zuerst die beiden Themengebiete, Energieübertrag (Kapitel 2) und Fotografieren (Kapitel 3), einer didaktischen Betrachtung unterzogen und deren Aufbereitung für das Lernen mit dem Computer aufgezeigt. Im Anschluss daran werden fächerübergreifender Unterricht und das Erlernen von komplexen realitätsnahen Problemen unter dem Fokus der Theorie der kognitiven Flexibilität beleuchtet (Kapitel 4). Kognitions- und medienpsychologische Grundlagen schließen sich an (Kapitel 5-7). Die Forschungsschwerpunkte in dieser Arbeit zum Lernen mit digitalen Medien sind die Frage nach der angemessenen Repräsentation (Kapitel 8), die Frage der Unterstützung beim aktiven Lernprozess (Kapitel 9) und die Frage nach den Bedingungen der Lernenden (Kapitel 10). In einer kurzen Zusammenschau werden daraus die übergeordneten Forschungsfragen entwickelt (Kapitel 11). Im empirischen Teil werden die Studien zu den zwei Inhaltsgebieten sowie deren Ergebnisse vorgestellt und diskutiert (Kapitel 12 und 13). Eine Zusammenfassung (Kapitel 14) schließt die Arbeit ab.

2 Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien

Mit den Begriffen didaktischer Rekonstruktion und der zuvor notwendigen Elementarisierung lässt sich das Aufarbeiten von Sachstrukturen für den Physikunterricht fassen.

Relevant sind dabei Prozesse des Elementarisierens, das Vereinfachen eines Inhalts, die Bestimmung des Elementaren - was sind für das Fach zentrale Aussagen? - und das Zerlegen in einzelne Elemente (Bleichroth, 1991). Unter didaktischer Rekonstruktion kann der fachgerechte, zielgerechte und schülergerechte Wiederaufbau von Strukturen aus solchen Sinneinheiten verstanden werden (Kircher, Girwidz & Häußler, 2000). Dabei lässt sich dieses Vorgehen kaum dogmatisch durchhalten und kann nur der Orientierung dienen. Infolgedessen werden auch - abweichend von der oben genannten Reihenfolge - zunächst wesentliche **inhaltliche Aspekte** aus dem Themengebiet Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien von Tieren bereits in Sinneinheiten gegliedert dargestellt. Danach werden die **Ziele** vorgestellt, die sich aus Überlegungen zur didaktischen Relevanz ergeben. Und danach die Struktur aufgezeigt, wie sich der Inhalt im Medium darstellen lässt und wie der Arbeitsprozess der Schüler ablaufen soll. Erst wenn die bereits nach didaktischen Gesichtspunkten angeordnete **Struktur** im Medium erläutert worden ist, wird gezeigt, wie die **Vereinfachung** der einzelnen Sinneinheiten im Detail erfolgte und wie diese Sinneinheiten im Medium zugänglich gemacht wurden. Dabei spielen auch Schülervorstellungen eine Rolle. Allerdings wird damit dem Attribut „schülergerecht“ noch nicht hinreichend Rechnung getragen. Vielmehr müssen auch die im Umgang mit Medien wichtigen kognitionspsychologischen und medienpädagogischen Grundsätze in Betracht gezogen werden. Diesen Grundlagen sind eigene Kapitel gewidmet, weil dort der Schwerpunkt der empirischen Untersuchung liegen wird.

Um den Rahmen dieser Arbeit nicht zu sprengen, werden weder die biologischen Sachstrukturen noch die vielen einzelnen Beispiele aus dem eher physikalisch-technischen Bereich ausführlich behandelt. Hier sollen daher nur die Grundideen verdeutlicht werden.

2.1 Inhaltliche Aspekte

Für erfolgreiches Überwintern in den gemäßigten und subpolaren Landschaftsgürteln ist der Energiehaushalt der Tiere ein entscheidender Faktor. Die Anpassung der Tiere an die jeweiligen Lebensräume beinhaltet eine Minimierung des Energieumsatzes in Zeiten knapper Ressourcen. Deshalb gilt es, insbesondere den Verlust von Energie zu minimieren. Hierzu sollen zuerst grundlegenden Begriffe der Thermodynamik geklärt und danach Prinzipien des Energietransports angerissen werden. Im Folgenden sollen in einer kurzen Sachanalyse die dabei relevanten inhaltlichen Aspekte skizziert werden, die bereits teilweise auf Schulniveau reduziert sind. Einen einfachen Überblick zu den Grundlagen aus Biologie und Physik zu diesem Themengebiet geben unter anderem Bogner, Dreher, Girwidz, Rubitzko & Wäckerle-Kuhn (2002). Fachspezifische Darstellungen dieses Inhalts finden sich beispielsweise bei Tipler (2000), Hering, Martin & Stohrer (1995), Lucas (2004) oder Meschede (2004).

2.1.1 Temperatur

Die Temperatur beschreibt den Zustand von Körpern und macht Aussagen darüber, wie „kalt“ oder „warm“ diese Körper sind. Dabei wird die Temperatur über das thermische Gleichgewicht zweier Phasen definiert, die genau dann im thermischen Gleichgewicht stehen, wenn ihre Temperatur gleich ist. Sie wird entweder - bezogen auf den Gefrier- und Siedepunkt des Wassers - in Grad Celsius oder - bezogen auf den absoluten Nullpunkt und den Tripelpunkt des Wassers - in Kelvin angegeben. Eine Vielzahl von Vorgängen in der Natur hängt von ihr ab. In unmittelbarem Zusammenhang mit der Temperatur stehen auch die innere Energie eines Körpers sowie die Prozesse, bei denen Wärme von einem System in ein anderes übergeht.

2.1.2 Innere Energie, Wärme, Arbeit und der erste Hauptsatz der Thermodynamik

Jedem System kann eine bestimmte innere Energie U zugeschrieben werden. Die innere Energie ist wie die Temperatur eine Zustandsgröße. „Sie ist der Energiegehalt einer Materiemenge, die über die kinetische und potentielle Energie hinausgeht“ (Lucas, 2004, S. 157). Die innere Energie wird - wie jede Energie - in Joule gemessen.

Betrachtet man beispielsweise ein Tier als System, so ist im Zusammenhang mit Überwinterungsstrategien insbesondere die chemische Energie wichtig, die dem Tier in Form von Fettreserven zur Verfügung steht. Mit dieser „Energiereserve“ ist bei vielen Arten ein Großteil des Energiehaushaltes im Winter zu bestreiten. Dabei ist natürlich zu bedenken, dass Tiere Systeme sind, bei denen Materieaustausch mit der Umwelt stattfindet. In einer vereinfachten Herangehensweise soll dieser Aspekt vorerst außer Acht gelassen werden.

Nicht außer Acht gelassen werden kann der Energieaustausch eines solchen Systems, das mit der Umwelt in Kontakt steht. So sind Systeme häufig durchlässig für Energieströme. Sie können beispielsweise mechanische Arbeit W verrichten oder Wärme Q abgeben.

Dabei unterliegen innere Energie, zugeführte Wärme und Arbeit dem Erhaltungssatz der Energie. In der Formulierung des ersten Hauptsatzes der Wärmelehre:

$$(Gl. 1) \quad Q = \Delta U - W.$$

Die dem System netto zugeführte Wärme Q ist dabei gleich der Differenz der Änderung seiner inneren Energie ΔU und der von ihm verrichteten Arbeit W . Im Zusammenhang mit überwinternden Tieren ist eine an den ersten Hauptsatz angepasste Formulierung interessant. So ist die Summe der aus dem System abgeführten Wärme und der vom System verrichteten Arbeit gleich der Änderung seiner inneren Energie. Das heißt, es müssen die Fettreserven angegriffen werden. Gegeben-

nenfalls muss dieser Energieverlust überdies durch Nahrungsaufnahme ausgeglichen werden.

2.1.3 Energietransport

Beim Überwintern von Tieren spielt vor allem der Energieverlust durch Abgabe von Wärme eine Rolle. Denn dem Energieverlust durch das Verrichten von Arbeit kann zumindest großteils durch Winterschlaf oder Winterruhe wirkungsvoll begegnet werden. Die Prozesse des Wärmeübergangs, namentlich die Wärmeleitung, Konvektion und Wärmestrahlung basieren auf unterschiedlichen Prinzipien. Dabei wird Energie stets von Bereichen hoher Temperatur zu Bereichen niedriger Temperatur übertragen. Während in Festkörpern nur Wärmeleitung auftritt, kommt es in Flüssigkeiten zudem zu freier oder durch äußeren Antrieb erzwungener Konvektion. In Gasen hingegen dominieren die Konvektion und Wärmestrahlung. Dort spielt Wärmeleitung nur eine untergeordnete Rolle. Im Vakuum ist Wärmestrahlung der einzige Übertragungsmechanismus (Hering, Martin & Stohrer, 1995). Da es sich um unterschiedliche Mechanismen handelt, gibt es auch verschiedene Möglichkeiten, diesen Energietransport zu unterbinden. Allen Prozessen gemein ist jedoch ein Temperaturgefälle. Demnach führt auch eine Reduktion dieses Gefälles zu einem verminderten Energietransport zwischen den Systemen.

2.1.4 Wärmeleitung

Bei der Wärmeleitung strömt Wärme längs eines Temperaturgefälles und zwar um so stärker je größer dieser Temperaturgradient ist. Ursache dieser Form des Energietransports sind Wechselwirkungen zwischen Atomen oder Molekülen. Auf Schulniveau sehr anschaulich ist das Modell schwingender Teilchen. In diesem Modell erfolgt der Energietransport dadurch, dass kinetische Energie an benachbarte Teilchen weitergegeben wird. Metalle leiten die Wärme besonders gut, weil dort in den Übertragungsprozessen auch freie Elektronen eingebunden werden können, die bei Stoßprozessen Energie transportieren (Tipler, 2000).

Die Wärmestromdichte j , also die durch eine Fläche A in der Zeit Δt transportierte Wärme Q , hängt vom Temperaturgradienten $\text{grad } T$ ab. Das Fourier'sche Gesetz des molekularen Wärmetransports quantifiziert diesen Zusammenhang:

$$(\text{Gl. 2}) \quad j = -\lambda \cdot \text{grad } T$$

Dabei ist die Materialkonstante Wärmeleitfähigkeit λ temperaturabhängig, wobei sie bei Nichtmetallkristallen etwa proportional zu T^{-1} ist, bei amorphen Substanzen hingegen mit T zunimmt. Metalle dagegen ändern ihren Leitwert zwischen Zimmertemperatur und einigen hundert Grad Celsius kaum (Meschede, 2004). Um Systeme gegen Wärmeleitung zu isolieren, sind also Materialien mit möglichst geringen Wärmeleitfähigkeiten wie beispielsweise Styropor zu verwenden. Ein Beispiel hierfür sind Isoliertaschen. Manchmal ist es aber wünschenswert, dass die Wärmeleitung möglichst groß ist. Dann bieten sich möglichst dünne Schichten aus gut leitendem Material und große Oberflächen an. So wurden früher Ofenrohre aus dünnem Blech gefertigt und durchs Zimmer geführt, um die Heizleistung der Öfen zu verbessern. Auch Kühlrippen eines Autokühlers sind ein Beispiel dafür.

2.1.5 Konvektion

Bei der Konvektion ist der Transport von Energie an den von Materie gebunden. Konvektion findet ausschließlich in Flüssigkeiten und Gasen statt. Fließt die Materie aufgrund von Auftriebskräften, die durch temperaturabhängige Dichteunterschiede hervorgerufen werden, so wird die Konvektion als freie Konvektion bezeichnet. Sind äußere Kräfte wie beispielsweise Pumpen die Ursache der Bewegung, so wird sie als erzwungene Konvektion bezeichnet (Hering et al., 1995). Um den Wärmeübertrag durch Konvektion zu verhindern, ist es also nötig, Materie am Strömen zu hindern. Beispielsweise hilft es, im Winter die Fenster zu schließen, um Wärmeverluste aus dem Zimmer zu minimieren. Andererseits ist eine erzwungene Konvektion sehr effektiv nutzbar, um große Wärmemengen abzuführen. So sorgen beispielsweise kleine Ventilatoren über den Prozessoren von Rechnern für hinrei-

chend Materiebewegung. Aber auch in der Natur gibt es viele Beispiele vornehmlich für freie Konvektion. Auch die Bildung von Quellwolken oder die Ausbildung von Inversionsschichten hängt von konvektiven Prozessen ab. Ein vielleicht überraschendes Beispiel ist die Orogenese: So hängt diese an die Plattentektonik gebundene Auffaltung von Gebirgen letztlich von konvektiven Prozessen im Erdmantel ab (Press & Siever, 1995).

2.1.6 Strahlung

Die Wärmestrahlung ist hingegen ein nicht an Materie gebundener Transport von Energie. Jeder Körper strahlt ständig Energie in Form von elektromagnetischen Wellen ab. Die Strahlungsleistung P_e (und auch die Zusammensetzung der darin enthaltenen Wellenlängen) hängt von der Temperatur T des Körpers ab. Überdies beeinflussen die Größe der Oberfläche A und der Emissionsgrad ε , der von der Oberfläche des Materials abhängt, die Strahlungsleistung. Das Gesetz von Stefan-Boltzmann quantifiziert diesen Zusammenhang. Dabei ist σ die Stefan-Boltzmann-Konstante:

$$(\text{Gl. 3}) \quad P_e = \varepsilon \sigma A T^4$$

Überdies absorbieren Körper auch Energie in Form von Strahlung nach einem vergleichbaren Gesetz, wobei T_0 nun die Umgebungstemperatur und P_a die absorbierte Energiemenge bezogen auf die Zeit ist. Dies lässt sich mit einer isomorphen Gleichung fassen:

$$(\text{Gl. 4}) \quad P_a = \varepsilon \sigma A T_0^4$$

In der Differenz bleibt eine Nettostrahlung übrig, mit der ein Körper der Temperatur T mit seiner Umgebung der Temperatur T_0 Energie austauscht.

$$(\text{Gl. 5}) \quad P_{\text{Netto}} = \varepsilon \sigma A (T^4 - T_0^4)$$

Die Strahlung, die von der Sonne zur Erde kommt und dort absorbiert und in einer anderen Zusammensetzung von Wellenlängen wieder abgestrahlt wird, ist ein typisches Beispiel für Absorptions- und Emissionsprozesse.

2.2 Didaktische Relevanz und Ziele

2.2.1 Didaktische Relevanz

Die gesellschaftliche Relevanz des Begriffes Energie, insbesondere im Zusammenhang mit der ausreichenden Energieversorgung einer modernen Industriegesellschaft, sieht Duit (1986 a) als einen wichtigen Aspekt. Er verweist zudem auf die Interdisziplinarität des Begriffs. Hepp (2001) fordert nicht zuletzt deshalb eine tiefer gehende Auseinandersetzung mit dem Thema Energie. Er betrachtet das Thema Energie nämlich als eine der wichtigsten Erkenntnislinien des Fachs Physik, das viele fächerübergreifende und fächerverbindende Elemente enthält. Dadurch kann in anderen Fächern wie Biologie, Chemie oder auch Ethik ein besseres Verständnis dieses Themengebiets erreicht werden. So finden sich seiner Ansicht nach viele Ansatzpunkte für interessante Praxisverbindungen, beispielsweise die im Bereich der Wärmedämmung in der Tierwelt oder beim Hausbau.

Auch im Fach Physik spielt der Energiebegriff in allen Inhaltsbereichen eine große Rolle; die größte aber vermutlich in der Thermodynamik (einen ausführlichen Überblick hierzu gibt Duit, 1986 a). Duit (1986 a) identifiziert fünf grundlegende Aspekte des Energiebegriffs. Diese Aspekte sind:

- 1) Die Konzeptualisierung von Energie.
- 2) Der Energietransport; dabei kommt zum Ausdruck, dass bei Wechselwirkungen zwischen Systemen Energie ausgetauscht wird.
- 3) Die Energieumwandlung; dabei kommt zum Ausdruck, dass Energie in verschiedenen Erscheinungsformen vorkommt.

- 4) Die Energieerhaltung; dabei kommt zum Ausdruck, dass bei der Umwandlung die Energie insgesamt erhalten bleibt.
- 5) Die Energieentwertung; damit gehen der Begriff der Entropie und das Verständnis des zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre einher.

Um ein Konzept von Energie aufzubauen, müssen nach Auffassung von Duit (1991) alle anderen vier Aspekte (2-5) vermittelt werden. Dabei schlägt er vor, diese Grundideen verzahnt miteinander zu erarbeiten.

Dennoch können natürlich weder alle Aspekte zeitgleich noch innerhalb verschiedener Inhaltsbereiche erschlossen werden. Deshalb ist ein Inhaltsbereich auszuwählen und mit einem Schwerpunkt zu beginnen. So bietet sich insbesondere der inhaltliche Bereich der Wärmelehre als Zugang an, der vom Energiebegriff geprägt ist. Hier können prinzipiell alle Aspekte gut angesprochen werden. Dabei lässt sich insbesondere der Aspekt des Energietransports gut durch den fächerübergreifenden Zugang über die Überwinterungsstrategien von Tieren in einen Sinn stiftenden Kontext bringen. Dies entspricht im Wesentlichen der bereits genannten inhaltlichen Anregung von Hepp (2001) bezüglich des fächerübergreifenden Ansatzes. So eingengt lässt sich das Thema mit dem Titel „Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien“ fassen. Unterwirft man diesen inhaltlichen Schwerpunkt einem Fragenkatalog mit sechzehn Fragen, nach welchen Gesichtspunkten eine Inhaltsauswahl erfolgen kann, so ist dieser Inhalt dafür geeignet...

„(...) grundlegende Begriffe und Gesetze aus den Naturwissenschaften zu erarbeiten (...), für Naturwissenschaft und Technik wesentliche Denkweisen, Methoden, Darstellungsformen, Arbeitstechniken und Verfahren zu erklären (...), die Erschließung anderer inhaltlicher Bereiche zu erleichtern (...), die natürliche und technische Umwelt begreifen zu helfen (...), Neigungen, Interessen und Probleme der Schüler gemäß ihrer Lernerfahrungen zu berücksichtigen“ (Duit, Häussler & Kircher, 1981, S. 25 ff).

2.2.2 Ziele

Von der Inhaltsauswahl abgeleitet ist nun ein für die Sekundarstufe I angemessenes Ziel für die Arbeit mit der Lernumgebung zu formulieren:

Die Arbeit mit der Lernumgebung soll die Lernenden in die Lage versetzen, verschiedene Überwinterungsstrategien von Tieren mit den physikalischen Grundlagen zum Energietransport in einen Zusammenhang zu bringen. Dabei sollen Beispiele aus verschiedenen Bereichen der Technik und der Natur, aber auch die verschiedenen Darstellungen, dazu beitragen, die Transportmechanismen und die Einflussfaktoren im Kontext zu durchschauen und in anderen Kontexten anwenden zu können.

2.3 Struktur der Inhalte und deren Abbildung im Medium

Betrachtet man die Fachstruktur und folgt den Überlegungen zur fachdidaktischen Relevanz unter der eben genannten Zielsetzung, so ergibt sich eine Struktur der Inhalte, die auch ins Medium übertragen werden kann. Solch eine Struktur kann als Sachstrukturdiagramm dargestellt werden und ist als Folgeprodukt einer didaktischen Analyse zu sehen, wie dies beispielsweise Kircher, Girwidz & Häussler (2000) vorschlagen. Dabei können derartige Diagramme beispielsweise Lehrenden und Lernenden einen Überblick auch von umfangreichen fächerüberschreitenden Unterrichtseinheiten geben; und sie können als Anregung für die Reihenfolge der Teilthemen herangezogen werden (Kircher, Girwidz & Häussler, 2000). Folgende Darstellung in Abbildung 1 dient im Übrigen nicht nur als Darstellung der Sachstruktur, sondern zusätzlich als Navigationsmittel in der Lernumgebung. (Hierzu mehr in Kapitel 8).

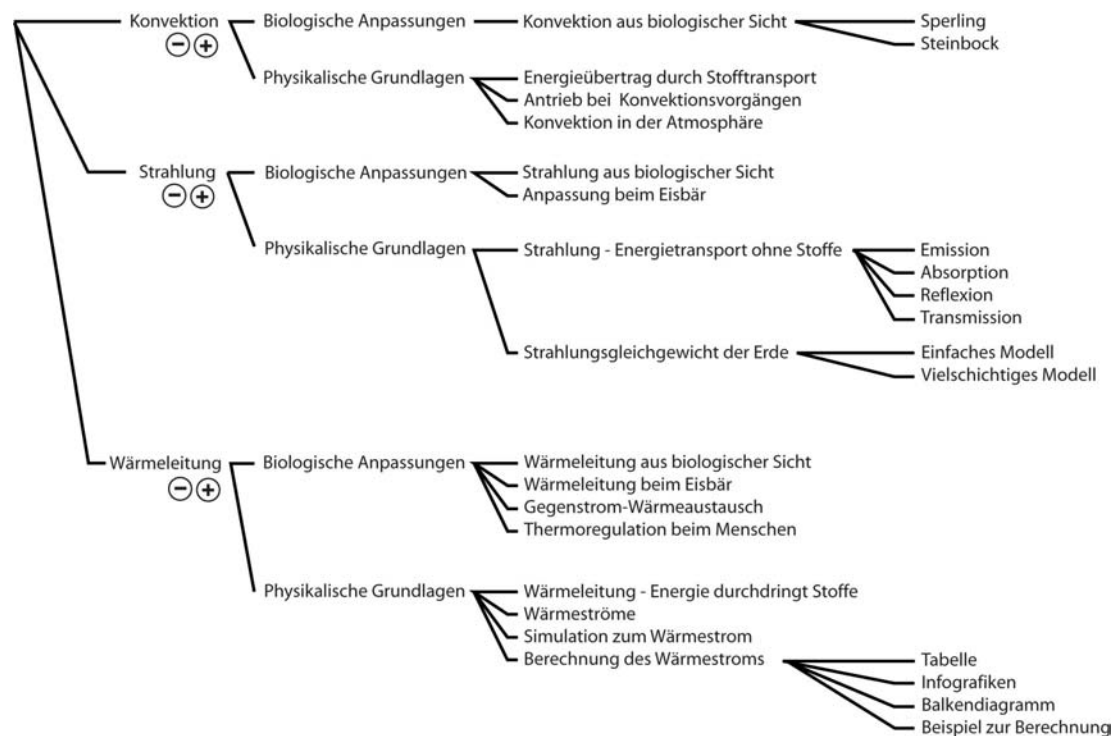


Abb. 1: Fachliche Struktur der Inhalte aus der Lernumgebung als Navigationsstool

2.4 Vereinfachung

Die Vereinfachung, der hier am stärksten betonte Aspekt der Elementarisierung, soll die Verminderung der Abstraktheit und den Abbau der Komplexität erreichen. Eine Rückführung auf qualitative Aussagen, die Vernachlässigung von im Moment nicht relevanten Inhalten und die Überführung des Inhalts in angemessene bildhafte oder symbolische Darstellungen können dabei hilfreich sein (Bleichroth, 1991). Auch bei der Vereinfachung ist darauf zu achten, dass sie den Gütekriterien Angemessenheit an die geistige Struktur der Schüler, fachliche Richtigkeit und Entwicklungsfähigkeit Rechnung trägt (vgl. hierzu beispielsweise Bleichroth, 1991). Um die Entwicklungsfähigkeit zu gewährleisten, sind auch inhaltliche Elemente aufzuarbeiten und zu vereinfachen, die unter der aktuellen Zielsetzung keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen.

2.4.1 Diskussion der Konzepte

Welches Konzept von Energie soll aufgebaut werden? Zuerst soll dazu die klassische Herangehensweise kurz diskutiert werden, nämlich die Energie über die mechanische Arbeit zu definieren. Duit (1991) steht dieser Herangehensweise eher skeptisch gegenüber. Weder sei der Kraftbegriff einfacher zu erlernen als der Energiebegriff, noch sei der Begriff der Arbeit anschaulicher als der Energiebegriff. Überdies beschränke die Definition über die Arbeit den Energiebegriff zumindest für Lernende auf die Mechanik, und zudem werde das Verständnis des zweiten Hauptsatzes der Wärmelehre dadurch erschwert. Außerdem gibt Duit (1986 b) zu bedenken, dass der Arbeitsbegriff auch deshalb das Erlernen des Energiebegriffs nicht erleichtert, weil Lernende mit dem Begriff Arbeit etwas anderes verbinden als mit dem Begriff Energie. Mit Arbeit wird meist eine geistige oder körperliche Aktivität in Zusammenhang gebracht, die mithin als eher unangenehm empfunden werden kann.

Dieser Argumentation folgend wurde eine andere konzeptuelle Basis, nämlich die des Energieflusses, gewählt. Geht man vom abstrakten, rein physikalischen Energiebegriff aus, der Energie als Zustandsgröße betrachtet, die einem System zugeordnet werden kann, so bedeutet die Vorstellung eines Energieflusses nach der Auffassung von Duit (1991) bereits eine Vereinfachung im Sinne der Elementarisierung. Dabei werden eine abstrakte Bilanzierung zweier Systeme und deren Austausch von Energiebeträgen als Fluss von Energie von einem System ins andere aufgefasst. Die Idee der Erhaltung der Energie ist bereits enthalten, falls das, was da fließt, als unzerstörbar betrachtet werde. Es muss dabei aber im Auge behalten werden, dass Energie kein realer Stoff ist. Im erstellten Programm wird deshalb eine Energiemenge, die von einem System in ein anderes übergeht, symbolisch als grüner Pfeil dargestellt.

Der Inhalt der Minimierung des Energieflusses bei Tieren, die den Winter überleben müssen, ist für den Aufbau eines Konzeptes dieser Art geeignet.

2.4.2 Der Begriff Wärme

Mit dem Themenbereich Wärmelehre geht auch der Begriff Wärme als Prozessgröße einher. Dieser Begriff ist aber auch mit Lernschwierigkeiten verbunden. Da ist zum einen die Alltagssprachlichkeit des Begriffs, der dort häufig mit Temperatur gleichgesetzt wird, aber auch das bezeichnet, was aus einem warmen Körper heraus fließen kann. Dabei scheint auch der Physikunterricht dieses Gleichsetzen von Wärme und Temperatur nur in eingeschränktem Maße zu überwinden (Duit, 1986 c). Zum anderen besteht ein Problem im doppelten Auftreten des Energiebegriffs bei Wärmeerscheinungen. So tritt Energie in Form von innerer Energie, aber auch in Form von Wärme auf. Lernende haben deshalb besonders dann Probleme, wenn zwar Wärme in einen Körper hineinfließt, diese dann aber dort nicht enthalten ist, sondern vielmehr die innere Energie erhöht wurde (Duit, 1999).

Aufgrund der Schwierigkeiten mit dem Begriff Wärme wird von Duit (1986) vorgeschlagen, auf diesen im Anfangsunterricht zum Themenbereich Energie in der Wärmelehre zu verzichten.

Alternativ dazu erwähnt Duit (1991) die Möglichkeit, in Zusammenhang mit dem Abkühlen oder dem Erwärmen von Körpern zu sagen, dass Energie ab- beziehungsweise zufließt. Dies betrachtet er als das für Schüler angemessene Verfahren, das dem Kriterium der fachlichen Richtigkeit Rechnung trägt. Dieser Überlegung wird in der Lernumgebung mit kleinen Einschränkungen gefolgt. So wird der Begriff Wärme nie isoliert erwähnt, sondern nur in Verbindung mit schwer zu vermeidenden Fachbegriffen wie Wärmeleitung oder Wärmeleitfähigkeit. Dabei wird stets darauf hingewiesen, dass das, was da fließt, Energie ist.

2.4.3 Wärmeleitung vereinfacht dargestellt - ein Beispiel

Bei der Vielzahl an Beispielen in der Lernumgebung ist es nicht möglich, jede einzelne Animation oder didaktische Aufbereitung bezüglich der verwendeten Vereinfachungen zu diskutieren. Allerdings soll an dieser Stelle eine Animation zum E-

nergieübertrag an einem Fenster als Beispiel diskutiert werden (siehe Abbildung 2 und 3).



Energie geht vom Bereich höherer Temperatur
in den Bereich niedriger Temperatur über.

Abb. 2: Bildhafte Kontextualisierung zum Energietransport durch eine Scheibe

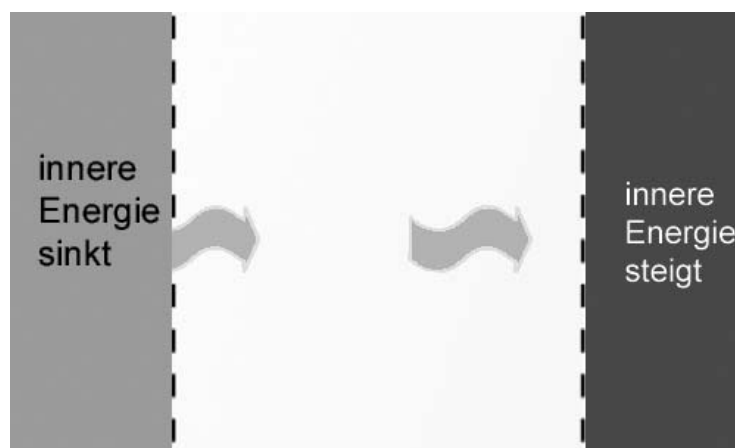


Abb. 3: Modell zum Energietransport durch eine Glasscheibe als Animation

Am Anfang steht eine Realfotografie einer Fensterfront, die den Kontext dieses Prozesses deutlich machen soll. Im Außenbereich ist Raureif zu erkennen, im In-

nenraum eine tropische Pflanze. Dies kennzeichnet die unterschiedlichen Temperaturen der beiden Bereiche (Abb. 2). Dieses Bild wird durch Heranfahen an die Scheibe und Überblenden in eine modellhafte Darstellung überführt (Abb. 3). Dabei werden die beiden Bereiche unterschiedlicher Temperatur in sinnfälliger Farbgebung dargestellt. Damit sind die beiden Systeme, nämlich der Innenraum und die Umgebung, als Bereiche unterschiedlicher Temperatur dargestellt.

Duit (1986 c) weist darauf hin, dass die Vorstellung der Wärmeleitung Schülern der Sekundarstufe I keine Schwierigkeiten bereitet, wenn Wärmequelle und Erwärmung deutlich zu erkennen sind. Allerdings bestehen Schwierigkeiten, wenn bei Wärmeleitungsprozessen die Umgebung die Wärmequelle ist. Diesem Problem kann durch die klare Farbgebung begegnet werden. Der Prozess der Wärmeleitung selbst wird dann - wie bereits vorher erwähnt - durch grüne Pfeile dargestellt, die sich abhängig vom Temperaturgefälle vom warmen zum kalten Bereich bewegen.

Zu diesem Bereich bestehen bei manchen Lernenden Vorstellungen von heißen Molekülen, die durch Stangen wandern oder von Luftlöchern im Material, durch welche die Wärme hindurchfließen kann (Duit, 1986 c). Dieses bildhafte Modell soll dazu beitragen, solche Vorstellungen vom Prozess der Wärmeleitung in fachgerechter Weise zu korrigieren. So kann strömende Energie als etwas Quantifizierbares gesehen werden, das von einem Bereich zum anderen fließt .

Eine andere von Duit (1999) genannte Vorstellung von Lernenden zur thermischen Interaktion kann durch diese Animation ebenfalls durchgearbeitet werden. So bringen manche Lernende die Temperaturänderung eines Körpers nicht mit anderen Gegenständen in Verbindung, sondern sehen diese vielmehr als eine Eigenschaft des Körpers. In der Animation interagieren hingegen wirklich zwei Systeme miteinander, und es wird gezeigt, dass mit der Änderung der inneren Energie des Innenraums auch die Änderung der inneren Energie im Außenbereich einhergeht. Dabei wird auch deutlich gemacht, dass zwar die aufgenommene und abgegebene Energie und damit auch die Veränderung der inneren Energien in beiden Systemen

dem Betrag nach gleich sind, aber der Temperaturanstieg keineswegs in beiden Systemen messbar ist. So soll innere Energie und Temperatur getrennt werden.

Ein weiterer Aspekt, der zu berücksichtigen war, ist der des stationären Zustandes bei Prozessen der Wärmeleitung. Berge (1999 b) macht darauf aufmerksam, dass bei sehr vielen Versuchen zur Wärmeleitung kein stationärer Zustand erreicht wird. Das heißt, es wird nicht sichergestellt, dass die Temperatur der beiden beteiligten Systeme konstant bleibt. Gerade dies ist jedoch die Bedingung, um konstante Leitungsvorgänge zu haben. Er schlägt folglich dazu Experimente mit Modellhäusern vor, die über eine kleine Innenheizung verfügen, um so die Temperaturkonstanz sicher zu stellen. In der Tat bietet auch diese Animation keinen stationären Zustand. Im gesprochenen Text wird erwähnt: „Die Temperatur fällt im Innenraum, wenn nicht geheizt wird.“ Allerdings laufen die Prozesse so langsam ab, dass für einzelne Zeitintervalle annähernd ein stationärer Zustand in der Scheibe erreicht wird. Überdies macht Berge (1999 b) darauf aufmerksam, dass beispielsweise bei einer Glasscheibe der Wärmewiderstand der angrenzenden Luftschicht höher sein kann als der der Glasscheibe. Auch dies wurde aus Gründen der Verständlichkeit vernachlässigt, um eine ohnehin schon begrifflich komplexe Situation zu vereinfachen. Allerdings lässt sich dies auch leicht in einem Gespräch klären und genügt damit wiederum dem schon angesprochenen Kriterium der Entwicklungsfähigkeit.

Weitere Details aus der Lernumgebung werden noch unter mediendidaktischer und kognitionspsychologischer Perspektive in späteren Kapiteln beleuchtet.

3 Fotografieren

Die Aufbereitung des Themengebietes Fotografieren orientiert sich an der Gliederung aus Kapitel 2. Wiederum werden inhaltliche Aspekte in Form einer Sachanalyse angesprochen, die didaktische Relevanz diskutiert und daraus Ziele abgeleitet. Die Diskussion einer geeigneten Strukturierung der Inhalte und wie diese Struktur ins Medium übertragen wird, schließt sich an. Das Kapitel endet mit Überlegungen dazu, wie der Inhalt fach- und schülergerecht vereinfacht werden kann.

3.1 Inhaltliche Aspekte

Im Folgenden werden die wichtigsten Prinzipien beim Fotografieren mit einer Kamera aus physikalischer Sichtweise dargestellt. Fachspezifische Darstellungen dieses Inhalts finden sich beispielsweise bei Tipler (2000), Meschede (2004) oder Pedrotti, Pedrotti, Bausch & Schmidt, (1996). Technische Details oder auch die fotochemischen Prozesse werden nicht angesprochen.

3.1.1 Absorption und Streuung

Trifft Licht auf Materie, so sind etliche Vorgänge zu berücksichtigen. Absorption, Reflexion (oder Streuung), Transmission und Brechung sind in dem hier behandelten Zusammenhang wichtig. Sie hängen von verschiedenen Faktoren ab.

Trifft Licht auf die Oberfläche eines Körpers, so werden Anteile davon in der Regel reflektiert. Bei glatten Oberflächen kann eine wirkliche Spiegelung stattfinden, bei rauen Oberflächen jedoch diffuse Streuung. Dabei dringt ein Teil des Lichts in die ersten Schichten des Materials ein. Beim Eindringen von Licht in Materie wird die Intensität des Lichts mit der Schichtdicke geschwächt und die Energie meist in Wärme umgewandelt. Die Stärke der Absorption hängt vom Material, aber auch von dessen Wellenlänge ab. So absorbiert Hämoglobin kaum rotes Licht, während Chlorophyll kaum grünes Licht absorbiert (Meschede, 2004). Das bedeutet, dass

der Anteil der jeweiligen Farbe, die gestreut werden kann, besonders hoch ist. Dies macht die Farbe des jeweiligen Körpers aus.

3.1.2 Modell der Lichtstrahlen

Brechung, Reflexion, Streuung und Beugung lassen sich gut mit einem Wellenmodell erklären. Ist allerdings die Wellenlänge des Lichts vernachlässigbar klein gegenüber den Komponenten des optischen Systems, dann kann man einfacher mit der geometrischen Optik arbeiten. In diesem Modell breitet sich das Licht als Strahl geradlinig von der Quelle aus, bis es auf die Grenzfläche eines anderen Mediums trifft.

Um den Lichtweg in einer Kamera zu beschreiben, ist neben der Geradlinigkeit der Lichtausbreitung noch das Verhalten von Licht beim Durchgang durch eine Linse oder ein Linsensystem relevant. Die Brechung lässt sich sehr gut mit geometrischer Optik beschreiben.

3.1.3 Brechung

Trifft Licht aus einem Medium auf ein anderes transparentes Medium, so wird es an der Oberfläche gebrochen. Es ändert seine Ausbreitungsrichtung nach dem Gesetz von Snellius. Der gebrochene Strahl bleibt dabei in der Einfallsebene. Dabei ist der Sinus des Brechungswinkels φ_2 proportional zum Sinus des Einfallswinkels φ_1 , wobei n_1 und n_2 die Brechzahlen der verschiedenen Materialien sind:

$$(\text{Gl. 6}) \quad \frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

3.1.4 Abbildungen mit dünnen Linsen

Für den Bereich der Sekundarstufe I ist nun die Abbildungsgleichung für dünne Linsen geeignet:

$$(\text{Gl. 7}) \quad \frac{1}{g} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Dabei ist g der Abstand des Gegenstandes, b der Abstand des Bildes und die Brennweite f der Abstand der Brennpunkte zur Mittelebene der dünnen Linse.

Die Bildkonstruktion bei dünnen Sammellinsen benötigt mindestens zwei der drei Hauptstrahlen. Dabei werden beispielsweise sowohl der zentrale als auch der achsenparallele Strahl bis zur Mittelebene der Linse durchgezogen. Der zentrale Strahl behält seine Richtung bei und der achsenparallele Strahl wird dort so „geknickt“, dass er auf der Bildseite der Linse durch den Brennpunkt läuft (siehe Abb. 4).

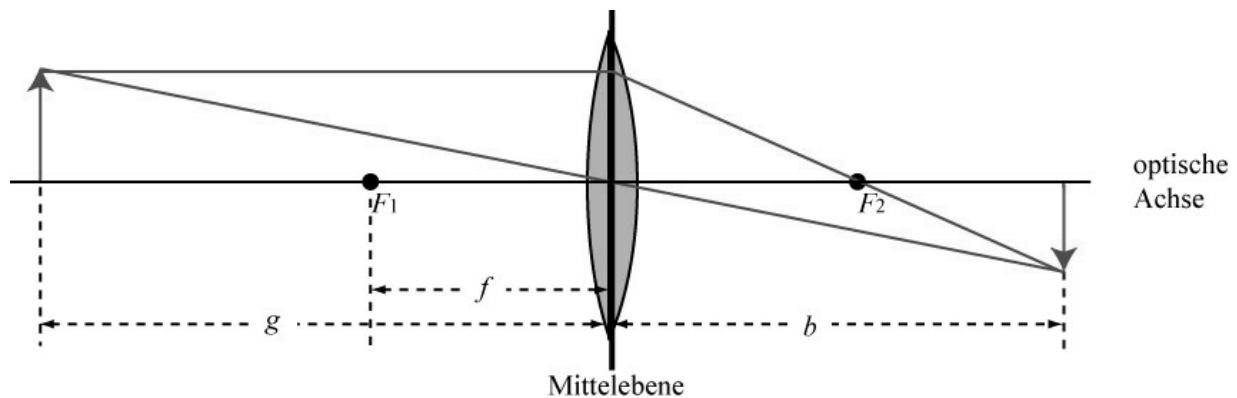


Abb. 4: Abbildung dünner Linsen mit achsenparallelem und zentralem Strahl

Dabei entsprechen aber weder der Mittelpunktstrahl noch der achsenparallele Strahl realen Lichtwegen. Licht verhält sich vielmehr nach dem Brechungsgesetz und dessen Weg hat an den Oberflächen der Linse einen Knick (siehe Abb. 5).

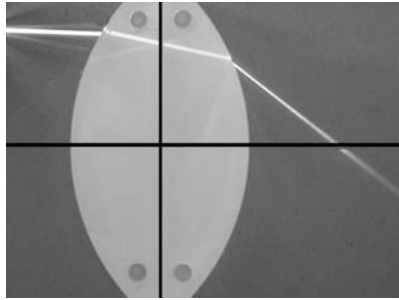


Abb. 5: Fotografie eines dünnen Lichtbündels durch eine Linse

3.1.5 Entfernungseinstellung

Aus der Abbildungsgleichung für dünne Linsen lassen sich nun unmittelbar Überlegungen zur Entfernungseinstellung ableiten. Bei der Kamera (dünne Linse vorausgesetzt) wird die Bildweite b durch den Abstand der Mittelebene und den Film vorgegeben. Demzufolge ergibt sich bei ebenfalls fester Brennweite f genau ein Abstand g , bei dem Gegenstandspunkte scharf abgebildet werden. Erst ein Verschieben der Linse verändert die Bildweite b (natürlich auch den Abstand zum Gegenstand g , was aber im Verhältnis meist zu vernachlässigen ist) und führt dadurch zu einer anderen Ebene auf der Gegenstandsseite, die scharf abgebildet wird.

3.1.6 Linsensysteme

In Kameras werden tatsächlich an Stelle von einzelnen dünnen Linsen meist Linsensysteme mit einzelnen Linsen geringer Abstände verwendet. Auch einem Linsensystem lässt sich jedoch wie einer einzelnen dünnen Linse eine Brennweite f zuordnen.

3.1.7 Abbildungsfehler

Systematische Abbildungsfehler bei sphärischen Linsen und damit auch bei Kameras ergeben sich unter anderem aus der Tatsache, dass die Linsengleichung nur für achsennahe Strahlen gilt. Ein hieraus resultierender Fehler ist die sphärische Aberration. Dabei schneiden achsenferne Strahlen die optische Achse näher bei der Linse als solche, die achsennah sind.

Einen anderen Grund hat die chromatische Aberration, die daher rührt, dass Linsen aufgrund verschiedener Brechungsindizes für verschiedene Farben jeweils verschiedene Brennweiten haben. Ein weiterer Fehler ist der Astigmatismus. Bei sphärischen Linsen wird Licht, das unter einem Winkel auf die Linse trifft, nicht auf eine Ebene im Abstand g , sondern vielmehr auf eine gekrümmte Fläche fokussiert (vgl. hierzu Tipler, 2000, S. 1081 ff. oder auch Pedrotti et al., 1997, S. 131 ff.).

3.1.8 Blende

Die Blende begrenzt Strahlenbündel. In technischen Anwendungen werden dafür dünne Stahlbleche verwendet, die ineinander geschoben werden können. Dadurch wird in ihrer Mitte ein halbwegs rundes Loch geformt, welches das Licht durchlässt. Die Blende sitzt entweder inmitten des Linsensystems oder in unmittelbarer Nähe der Linse. Die Blendenzahl selbst gibt Auskunft über das Verhältnis von Brennweite f und dem Durchmesser der Öffnung d :

$$(\text{Gl. 8}) \quad \text{Blendenzahl} = \frac{f}{d}.$$

Eine Verdoppelung der Blendenzahl führt also zu einer viermal kleineren Öffnungsfläche.

Die normierte Blendenreihe lautet 1; 1,4; 2; 2,8; 4; 5,6; 8; 11 usw.. Diese Werte ergeben sich aus dem vorherigen Wert durch Multiplikation mit Wurzel 2. Da die Öffnungsfläche proportional zum Quadrat des Durchmessers ist und dieser umgekehrt proportional zur Blendenzahl, halbiert sich folglich bei Wahl einer nächst höheren Blendenstufe die Öffnungsfläche. Über die Blende lassen sich die Bestrahlungsstärke (siehe Abbildung 6), aber auch der Bereich der Schärfentiefe beeinflussen. Für weitere Details siehe Tipler (2000) sowie Pedrotti et al. (1997).

3.1.9 Schärfentiefe

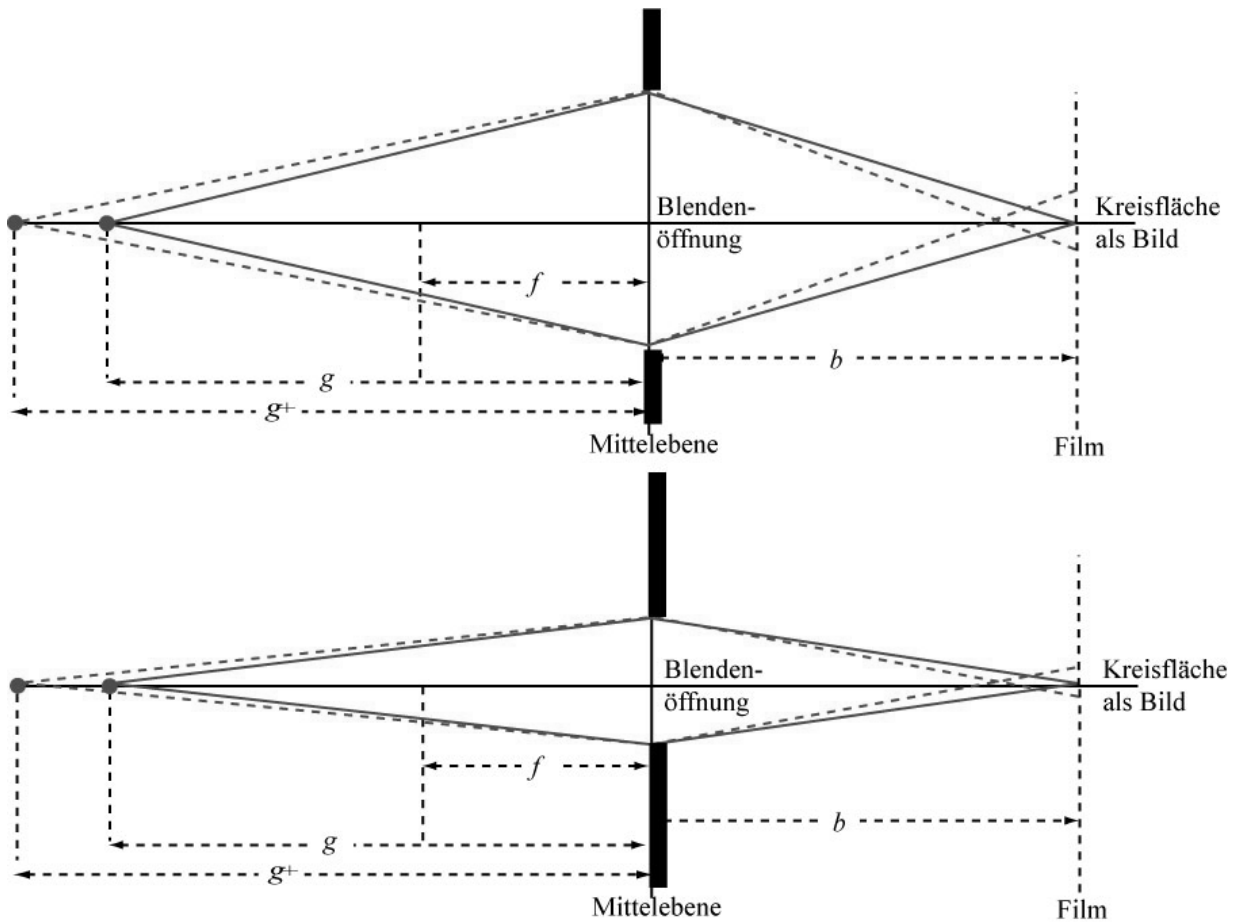


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Blendenöffnung und Schärfentiefe

Abbildung 6 zeigt die Abbildung für drei Gegenstandspunkte in verschiedenen Abständen von der Mittellebene und der Bildebene, wo der Film liegt. Im Abstand b_0 von der Mittellebene der Linse sei der Film. Im Abstand g werden alle Punkte scharf abgebildet. Weiter entfernte Punkte (g^+), aber auch solche, die näher an der Linse liegen, werden in der Filmebene als Kreisscheiben abgebildet. Der Gegenstandsbereich, bei dem Punkte zu Kreisscheiben abgebildet werden, die beim Betrachten des Bildes einen so kleinen Sehwinkel einnehmen, dass sie nicht als Fläche wahrgenommen werden, wird als Schärfentiefe bezeichnet (Pedrotti et al., 1997). Durch Verringern der Blendenöffnung verringert sich nun der Durchmesser dieser

Kreisscheiben (siehe Abbildung 6). Nach dem Strahlensatz führen eine Verdoppelung der Blendenzahl und damit eine Halbierung des Öffnungsdurchmessers der Blende zu einer Halbierung dieses Kreisdurchmessers. Damit wird der Bereich der Schärfentiefe dem Strahlensatz folgend ebenfalls verdoppelt.

3.1.10 Belichtungszeit

Die Belichtungszeit ist die Zeit, in welcher der Kameraverschluss geöffnet ist. Bei den meisten Kameras ist die kürzeste Belichtungszeit $1/1000$ s. Weitere Stufen ergeben sich aus der Verdoppelung der Belichtungszeit zu $1/500$ s, $1/250$ s, usw.. Bewegt sich ein Gegenstandspunkt während der Verschluss geöffnet ist (mit einer Komponente senkrecht zur optischen Achse), so verschmiert auch die Abbildung dieses Gegenstandspunktes. Sowohl längere Belichtungszeiten als auch schnellere Bewegungen des Gegenstandspunktes führen zu stärker verschmierten und dadurch unscharfen Abbildungen dieser Punkte.

3.1.11 Bildhelligkeit

Die Bildhelligkeit hängt bei festgelegter Filmempfindlichkeit davon ab, welche Energiemenge durch Licht auf eine bestimmte Fläche des Films übertragen wird. Dabei ist die Energiemenge proportional zur Belichtungszeit. Überdies ist die Energiemenge, die in einer bestimmten Zeit auf eine Fläche fällt, proportional zur Öffnungsfläche der Blende. Wählt man die nächst kleinere Blendenstufe, führt dies zu einer Verdoppelung der Energiemenge, die unter sonst gleichen Bedingungen auf den Film fällt. Ein gleich helles Bild kann also beispielsweise durch Erhöhung um eine Blendenstufe bei gleichzeitiger Erhöhung der Belichtungszeit um eine Stufe erreicht werden. Außerdem sind hellere Bilder natürlich auch durch bessere Ausleuchtung der Gegenstände zu erreichen, die dann mehr Licht in Richtung der Objektöffnung der Kamera streuen.

3.2 Didaktische Relevanz und Ziele

3.2.1 Didaktische Relevanz

1990 machte jeder in den alten Bundesländern lebende Mensch im statistischen Mittel pro Woche ein Bild (Berge, 1992). Nach flächendeckender Einführung der digitalen Fotografie dürfte sich dieser Wert noch erhöht haben. Fotografieren ist inzwischen mit einfachen automatischen Kameras zur Alltagsfertigkeit geworden. Mit dieser Vereinfachung im Umgang gehen jedoch meist das physikalische Verständnis und damit auch die Möglichkeit verloren, auf das Motiv und die Intention abgestimmte Bilder zu machen. Dabei kann gerade diese Verbindung mit Ästhetik ein für viele Lernende geeigneter Zugang zu physikalischen Inhalten sein. Ähnlich sieht auch Berge (1992) in der Fotografie die Möglichkeit, die Fächer Kunst und Physik zu verbinden. Dabei ist es evident, dass als Voraussetzung, um gute Fotos zu erreichen, eben die Physik der Fotografie durchschaut werden muss. So sieht Vorwerk (1992) gerade im Aspekt der Schärfentiefe und in der Abbildung von Bewegung auch Gestaltungsmittel für Lernende, die sich mit künstlerischen Aspekten der Fotografie beschäftigen.



Abb. 7: „Maxwell'scher Papagei“ mit verschiedenen Einstellungen fotografiert

Ein Beispiel hierzu findet sich in Abbildung 7 (Rubitzko & Girwidz, 2006, in Druck). Von links nach rechts nehmen die Bewegungsunschärfe und die Schärfentiefe zu. Dies wird erreicht durch eine Zunahme der Belichtungszeit bei gleichzeitiger Erhöhung der Blendenzahl.

Neben der Anbindung an das Fach Kunst besteht auch die eine Verbindung zur Biologie – hier über das Thema Auge. Berge (2000) stellt unter anderem folgende Gemeinsamkeiten heraus: Es wird jeweils ein umgekehrtes reelles Bild erzeugt, die Bildweite entspricht etwa der Brennweite des abbildenden Systems, eine Irisblende regelt den Lichteinfall und beide Systeme unterliegen den gleichen Prinzipien bei der Schärfentiefe. Allerdings verweist er auch auf etliche Unterschiede. So nehmen wir mit unserem Auge das umgekehrte Bild richtig herum wahr, oder die Entfernungseinstellung beim Auge erfolgt über die Veränderung der Brennweite der Linse. Daher liegen hier Grenzen der Vergleichbarkeit vor.

Aber auch rein physikalisch betrachtet bietet das Themengebiet Fotografieren mit einer Kamera einen geeigneten Zugang zu Gesetzmäßigkeiten in einem schülernahen Kontext. So können Absorption und Streuung des Lichts am Gegenstand sowie das Strahlenmodell behandelt werden, wie bereits in der Sachanalyse deutlich wurde. Mit der Untersuchung der Entfernungseinstellung lässt sich die Abbildung mit dünnen Linsen in einen alltäglichen und praxisnahen Zusammenhang bringen. Und,

wie bereits angesprochen, bieten insbesondere die Zusammenhänge zwischen Einstellmöglichkeiten der Kamera und Bildeigenschaften interessante und komplexe Untersuchungsanlässe für die Lernenden.

3.2.2 Ziele

Da mit diesem Themengebiet sehr viele Inhalte angesprochen werden können, ist eine weitere Eingrenzung mit einer konkreten Zielsetzung notwendig. Dabei wurde nicht zuletzt aus dem bereits oben umrissenen Forschungsinteresse der Schwerpunkt auf die Förderung des Verständnisses für komplexe Zusammenhänge gelegt. So wurde das Ziel für die Lernsoftware folgendermaßen formuliert.

„Die Lernenden sollen die Kamera dem Motiv entsprechend einstellen können, um Bilder mit der gewünschten Belichtung und Schärfe zu erhalten. Umgekehrt sollen sie auch ausgehend von der Bildqualität Rückschlüsse auf Kameraeinstellungen ziehen können“ (Rubitzko & Girwidz, 2006, in Druck).

Dabei sind aber keinesfalls nur eindimensionale Zusammenhänge mit eher einfachen „Wenn-dann-Beziehungen“ zu durchdringen. Vielmehr sollten die Lernenden auch in der Lage sein, beispielsweise ein Bild mit größerem Schärfentiefebereich bei gleicher Bildhelligkeit zu machen.

Um das angesprochene Ziel zu erreichen, müssen insbesondere folgende Zusammenhänge in der Kamera als zentrale Aspekte betrachtet werden:

- zwischen Blende und Bildhelligkeit
- zwischen Belichtungszeit und Bildhelligkeit
- zwischen Blende und Schärfentiefe im Bild
- zwischen Belichtungszeit und Bewegungsunschärfe im Bild
- zwischen den Einstellungen an der Kamera und der Veränderung des Lichtwegs
- zwischen Beleuchtungsstärke und Bildhelligkeit,

- zwischen Gegenstandsweite, Bildweite und Position der Linse

Auf die Inhalte Lichtstreuung am Gegenstand, Linsensysteme, Abbildungsfehler und Brechung wird hingegen nicht fokussiert. Diese sind aber so anzulegen, dass dies in einer weiteren Unterrichtseinheit angesprochen werden könnte.

3.3 Struktur der Inhalte und deren Abbildung im Medium

Zu ganz ähnlichen Zielen, beispielsweise „wissen, wie sich die Belichtungszeit beim Fotografieren auswirkt und wie ihre Wahl zur Verbesserung der Schärfentiefe beitragen kann“ (Engelhardt, Herdt & Wiesner, 2003, S. 25), erarbeiten Engelhardt, et al. (2003) eine Unterrichtseinheit zum Thema Fotoapparat. Dabei erarbeiten sie zuerst die Entfernungseinstellung, die bei der Kamera durch das Verschieben der Objektivlinse gewährleistet wird. Hernach wird das Problem der Schärfentiefe durch eine Konstruktion der Zerstreuungskreise (analog zur Skizze oben) erarbeitet, die mit Tafeloptik nachzustellen ist. Der Zusammenhang von Blendendurchmesser und Schärfentiefe soll anhand eines Arbeitsblatts grafisch gelöst werden. Fotos unterschiedlicher Schärfentiefenbereiche und eine Kamera als Anschauungsmaterial ergänzen den Unterricht. Für die Belichtungszeit und den Zusammenhang Blende, Belichtungszeit mit der Bildhelligkeit schlagen sie ein Aufgabenblatt vor und den Einsatz einer realen Kamera.

Ein anderer Weg wird in dieser Arbeit dokumentiert. Dies geschieht auch aus dem Forschungsinteresse heraus, wie eine Simulation mit vielen grafischen Elementen das Lernen komplexer Inhalte fördern kann. Deshalb sollten Lernende die Möglichkeit haben, Experimente mit einer virtuellen Kamera durchzuführen und so Hypothesen zu überprüfen und eigene Beobachtungen zu diesem Themengebiet zu machen.

Folgende inhaltliche Struktur sollte auch in der Simulation wieder erkennbar sein, nämlich die Zusammenhänge zwischen Charakteristika des Motivs, Einstellung der Kamera, Strahlengang in der Kamera und resultierendem Bild. Die für Untersu-

chung relevanten Zusammenhänge sind in Abbildung 8 (aus Rubitzko & Girwidz, 2006, in Druck) dargestellt.

Charakteristika des Motivs	Kamera-einstellung	Physikalisch relevante Veränderung	Ergebnis im Bild
mehrere Tiefen	Blendenzahl	Durchmesser der Blendenöffnung	Tiefenschärfe
Bewegung	Belichtungszeit	Öffnungsdauer des Verschlusses	Helligkeit
			Bewegungsunschärfe
— steht in Zusammenhang mit ...			

Abb. 8: Einige wichtige Zusammenhänge beim Fotografieren mit einer Kamera

Analog dazu erfolgte auch die Umsetzung im Medium:

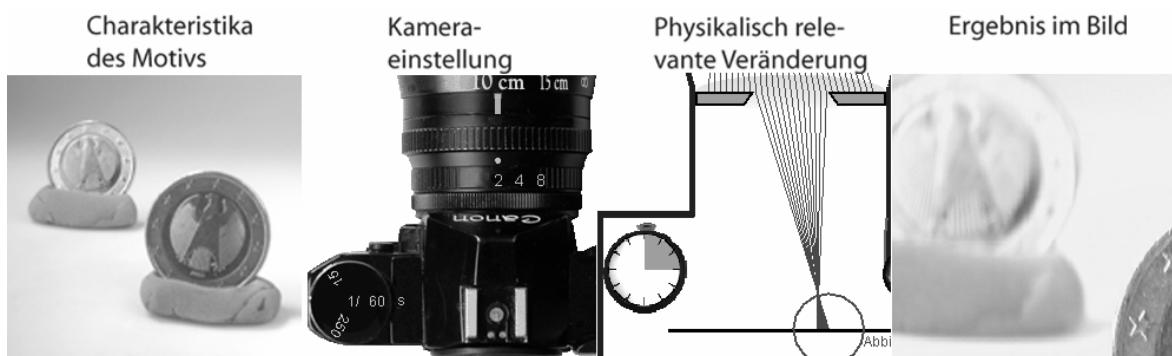


Abb. 9: Münzen mit Tiefenunschärfe und überbelichtet (Blende 2; 1/60 s)

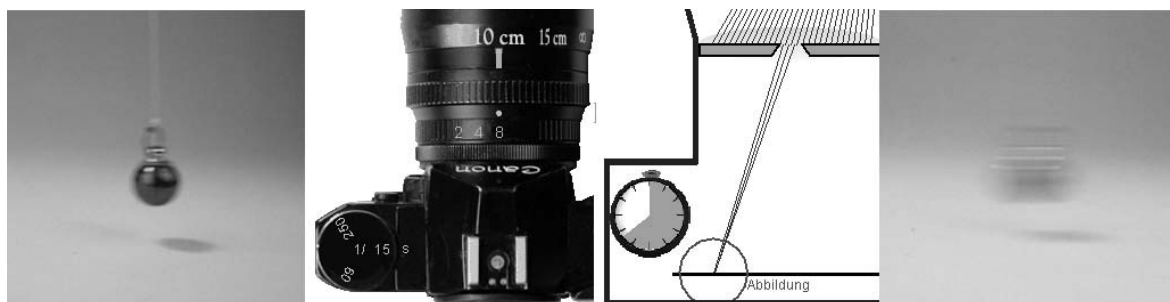


Abb. 10: Pendel mit Bewegungsunschärfe und gut belichtet (Blende 8 1/15 s)

In den Abbildungen 9 und 10 sind einige Elemente zu erkennen, die das Programm bietet:

- Als Motiv kann zwischen einer Reihe Münzen (Abb. 9) in verschiedenen Entfernungen und einem schwingenden Pendel (Abb. 10) gewählt werden. Diese Motive können zusätzlich unterschiedlich stark beleuchtet werden.
- In einer realistischen Darstellung der Kamera lassen sich Blende, Belichtungszeit und die Entfernung einstellen.
- In der modellhaften Darstellung lassen sich diese Parameter ebenfalls verändern, allerdings in einer anderen Darstellung. Überdies werden dort auch die Strahlengänge angezeigt, die sich entsprechend der jeweiligen Motive und Einstellungen ändern.
- Beim Druck auf den Auslöser entstehen entsprechende Aufnahmen, die sofort angezeigt werden und mit einer Lupe genau betrachtet werden können.

In der realitätsnahen Darstellung kann der Zusammenhang zwischen einstellbarer Belichtungszeit, Blendenzahl und Entfernung einerseits und den resultierenden Bildern andererseits erarbeitet werden. Der inhaltliche Schwerpunkt bei der Modelldarstellung liegt auf den physikalischen Vorgängen im Inneren der Kamera. Hier können unter anderem Strahlengänge untersucht werden. Dabei kann beobachtet werden, wie eine kleinere Blendenöffnung ein Lichtbündel mit kleinerem Öffnungswinkel erzeugt und dadurch die Abbildung in allen Tiefen schärfer wird. Bei bewegten Motiven lässt sich aber auch direkt die Bewegung des Lichtbündels über den Film beobachten.

Es kann beliebig zwischen Realdarstellung der Kamera und modellhafter Darstellung gewechselt werden. Dabei werden in beiden Darstellungsformen die entsprechenden Elemente an jeweils der gleichen Stelle des Bildschirms gezeigt. Dadurch

soll der Zusammenhang zwischen Kameraeinstellung und den resultierenden Strahlengängen erkannt werden (siehe Abb. 9 und Abb. 10 aus Rubitzko & Girwidz, 2006, in Druck). So erfolgt beispielsweise eine Verknüpfung von Blendenzahl und Durchmesser der Blendenöffnung oder auch von Belichtungszeit und dem Strahlengang in der Kamera.

3.4 Vereinfachung

In der virtuellen Kamera wurden etliche Vereinfachungen realisiert. Für den Bereich der geometrischen Optik und der Darstellung der Kamera sollen diese nun aufgezeigt werden.

Schon die Verwendung der **geometrischen Optik** stellt mit ihrem Verzicht auf Beugungseffekte eine Vereinfachung dar. Das Modell des Lichtstrahls macht Lichtwege für Schüler zugänglich. Dabei wurde darauf verzichtet, die wirkliche Brechung an der Linsenoberfläche darzustellen, vielmehr knicken die Strahlen an der Mittelebene ab. Mit dieser Darstellung der Brechung können Lernende zwar falsche Vorstellungen aufbauen, dennoch ist sie eine übliche Darstellung der Hauptstrahlen zur Konstruktion von Bildpunkt aus dem Gegenstandspunkt. Das Medium ergänzend sollte also im Unterricht auf jeden Fall die Brechung mit einer realen großen Linse gezeigt werden. Genauso wichtig ist aber auch zu zeigen, dass die Konstruktion mit den Strahlen an der Mittelebene durchaus ähnliche Ergebnisse des Lichtwegs gibt. Auf die Darstellung eines Linsensystems wurde verzichtet, obwohl dieses normalerweise in realen Kameras verwendet wird. Auch hier lässt sich das Medium durch externe Versuche ergänzen, bei welchen gezeigt wird, dass sich Kombinationen von eng beieinander liegenden Linsen ähnlich einer „Ersatzlinse“ verhalten.

Die Strahldarstellung im Programm ist so gewählt, dass Lichtstrahlen, die von Gegenständen ausgehen, die Farbe haben, in der wir diesen Gegenstand wahrnehmen. Diese „Strahlen“ sollen gestreutes Licht darstellen. Dabei wurde der Übersicht halber auf die Darstellung einfallenden weißen Lichts verzichtet. Deshalb sollten wie-

derum ergänzend im Unterricht speziell Versuche zur Streuung und Absorption gezeigt werden. Dies ist schon allein deshalb notwendig, weil Lernende der Primar- und auch Sekundarstufe 1 nur selten eine physikalisch haltbare Vorstellung von Streuung haben. Vielmehr glauben Lernende oft, dass Licht die Gegenstände schlichtweg hell macht. Auch die Farbigkeit des Lichts wird nicht durch unterschiedliches Streuvermögen der einzelnen Oberflächen erklärt (Wiesner, 1986).

Einer anderen von Wiesner, (1986) beschriebenen Schülervorstellung zum Schatten von Hindernissen kann hier nicht gegengesteuert werden. So glauben viele Schüler, dass Lichtstrahlen hinter Hindernissen einen Knick machen. Dies sieht in der hier verwendeten Kombination von Linse und Blende auch tatsächlich so aus, was aber natürlich an der Brechung durch die Linse liegt und nicht etwa am Hindernis Blende. Dies sollte mit einer Kombination aus Blende und Linse im Experiment nachgestellt und so thematisiert werden. Mit der beweglichen Blende in der Kamera kann einer von Feher & Rice (1988) beschriebenen Fehlvorstellung, nämlich der, wie Öffnungen Gegenstände abbilden, entgegen gewirkt werden. So lässt sich durch Verkleinern der Blendenöffnung zeigen, dass nicht nur Ausschnitte des Gegenstands abgebildet werden. Dieses Verkleinern des Öffnungsdurchmessers entspricht auch in etwa dem Vorgehen Wiesners (1994), der einer holistischen Vorstellung bei der Abbildung von Gegenständen mit Linsen dadurch begegnen möchte, dass er Teile der Linse abdeckt und so zeigt, dass nun nicht etwa Bildteile verschwinden.

Ob jedoch unbedingt auch alle Fehlvorstellungen generell angesprochen werden müssen, darf bezweifelt werden. So erachtet beispielsweise Wiesner (1986) eine Strukturierung und methodische Aufbereitung des Lehrstoffs, die mit möglichst wenigen Lernschwierigkeiten verarbeitet werden kann, als eine Möglichkeit, den Vorerfahrungen der Schüler zu begegnen. Die von Jung (1986) vorgeschlagene Konfliktstrategie als durchgängiges Prinzip erscheint ihm hingegen untauglich. Dabei führt er den Zeitaufwand und die Gefahr der Übernahme plausibler Fehlvorstellungen ins Feld.

Auf eine explizite quantitative Darstellung der Abbildungsgleichung von dünnen Linsen wurde verzichtet, obwohl beispielsweise die Messung auf dem Bildschirm diese Möglichkeit bietet. Damit kann das Abbildungsgesetz für Linsen nachgeprüft werden, somit ist die Simulation auch quantitativ erweiterbar. Allerdings bieten sich qualitative Überlegungen an, wie Bildweite und Gegenstandsweite zusammenhängen.

Neben dem Verwenden und der Darstellung der geometrischen Optik ist auch die **Darstellung der virtuellen Kamera** selbst ein Element der Vereinfachung.

So wurden die für eine reale Kamera wesentlichen, aber nicht für das Lernziel relevanten Bedienelemente wie Spannmekanismus oder Einstellung der Filmempfindlichkeit, einfach weggelassen. Überdies wurden technisch wichtige Elemente teilweise stilisiert. So besteht der Verschluss nur aus einem verschwindenden Balken und die ablaufende Belichtungszeit wird symbolisch als Uhr dargestellt. Auch die Blende ist im Aufriss mit zwei Balken symbolisiert, die von links und rechts in die Linse ragen. Allerdings wird die Blende zusätzlich in einer Abbildung von vorn betrachtet außerhalb des Gehäuses gezeigt. Damit kann beobachtet werden, dass eine Halbierung des Öffnungsdurchmessers zu einem Viertel der Öffnungsfläche führt.

Aber auch die Anzahl der Einstellmöglichkeiten von Blende und Belichtungszeit wurde reduziert. So sind nur die Blendenzahlen 2, 4, 8 und die Belichtungszeiten $1/15$ s, $1/60$ s, $1/250$ s wählbar. Diese sind so ausgewählt, dass die Bildhelligkeit bei gleichzeitigem Erhöhen der Blendenstufe und Wahl der nächsten längeren Belichtungszeit konstant bleibt. Außerdem lässt sich mit dieser Auswahl an Werten der Zusammenhang von Blendenzahl, Belichtungszeit und Bildhelligkeit gut zeigen. Die Einschränkung an Werten hat überdies auch Gründe, die in der Implementierung liegen. So ist die Anzahl der Stufen schon allein deshalb zu begrenzen, weil schließlich zu jeder Kombination auch ein entsprechendes Bild bereitgestellt werden muss.

Trotz der bereits genannten Auswahl konnten aber keineswegs alle didaktisch brauchbar erscheinenden Elemente zur Vereinfachung mit integriert werden. So blieb beispielsweise eine bemerkenswerte Analogie ungenutzt. Es lässt sich etwa ein Wasserhahn als Analogie für das Zusammenspiel von Blende und Belichtungszeit benutzen. Die Belichtungszeit entspricht dabei der Dauer, wie lange der Hahn geöffnet ist. Wie stark er geöffnet ist, entspricht der Öffnung in der Blende und die in einen Becher geströmte Wassermenge entspricht der Lichtmenge, die auf den Film trifft (Freytag, 1977). Auch solche Analogien gehören in einen ergänzenden Unterricht.

Die weitere Gestaltung dieses Lernprogramms und die zugehörige instruktionale Unterstützung werden als Veranschaulichung der verwendeten kognitionspsychologischen Theorien an gegebener Stelle ausgeführt.

4 Didaktische Ansätze

Das Themengebiet Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien zeichnet sich durch seinen fächerübergreifenden Charakter und die vielen, mithin komplexen Beispiele aus der Natur und Technik aus. Das Themengebiet Fotografieren hingegen erreicht seine Komplexität durch das Zusammenspiel der verschiedenen Einstellungen, die gleichzeitig verändert werden können und müssen. Hier bietet der Alltagsbezug interessante Zugänge, auch wenn dies zu erhöhten Anforderungen in der Verarbeitung führt. Es soll kurz gezeigt werden, dass beide Inhalte geeignet sind, um naturwissenschaftliche Denkweisen zu vermitteln und so den Anforderungen modernen Unterrichts genügen. Überdies wird gezeigt, dass mit den Grundlagen zum situierten Lernen und insbesondere mit der Theorie der kognitiven Flexibilität ein theoretischer Rahmen zur Verfügung steht, um solche Inhalte angemessen zu vermitteln.

4.1 Fächerübergreifendes Lernen

Angelehnt an Labudde (2003) wird im Folgenden der Begriff „fächerübergreifender Unterricht“ als Oberbegriff verwendet. Dabei sind Unterrichtsformen gemeint, die einzelne Fachgrenzen verlassen, Fächer in enger Absprache miteinander abstimmen oder auch gemeinsam ein spezielles Themengebiet behandeln. Dies ist beim Thema Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien und dessen Umsetzung der Fall. Damit lassen sich auch einige der von Labudde (2003) genannten Begründungen für fächerübergreifenden Unterricht im Zusammenhang mit diesem Thema nennen.

Fächerübergreifender Unterricht ...

- bietet die Möglichkeit für Lernende im Kontextbezug, neues Wissen aktiv aufzubauen und mit ihrem Vorverständnis zu verknüpfen.

- kann Kompetenzen in Denk- und Arbeitsweisen eines Faches fördern und die Grenzen und Chancen eines Fachs aufzeigen.
- bietet bessere Voraussetzungen, um einige spezielle überfachliche Kompetenzen wie Umweltkompetenz oder differenziertes Denken zu vermitteln, als reiner fachspezifischer Unterricht.

Auch die Frage nach der Vermittlung naturwissenschaftlicher Grundbildung darf gestellt werden.

„Naturwissenschaftliche Grundbildung (Scientific Literacy) ist die Fähigkeit, naturwissenschaftliches Wissen anzuwenden, naturwissenschaftliche Fragen zu erkennen und aus Belegen Schlussfolgerungen zu ziehen, um Entscheidungen zu verstehen und zu treffen, welche die natürliche Welt und die durch menschliches Handeln an ihr vorgenommen Veränderungen betreffen“ (OECD, 2002, S. 133, zitiert in Rost, Walter, Carstensen, Senkbeil & Prenzel, 2003, S. 122).

Dieses Konstrukt umfasst drei Aspekte; das Verstehen naturwissenschaftlicher Konzepte, das Durchführen typisch naturwissenschaftlicher Prozesse wie beispielsweise das Beschreiben, Erklären und Vorhersagen von Phänomenen und die Fähigkeit, das Wissen in relevanten Kontexten situationsgerecht anzuwenden (Rost et al., 2003).

Es ist allerdings nicht gewiss, ob mit fächerübergreifenden Ansätzen auch besser naturwissenschaftliche Grundbildung vermittelt werden kann als mit gefächertem Unterricht. Die Forschungsergebnisse bezüglich fächerübergreifenden Unterrichts bezogen auf die Leistungen im naturwissenschaftlichen Bereich sind eher uneinheitlich. So stellt zwar Labudde (2003) heraus, dass das Interesse der Lernenden beim fächerübergreifenden Unterricht meist höher als im gefächerten Unterricht sei. Überdies führe fächerübergreifender Unterricht eher zu einem umfassenden Repertoire an naturwissenschaftlichen Methoden. Bei den Leistungen in den Naturwissenschaften selbst kommen die Studien zu keinen einheitlichen Ergebnissen.

Diese Ergebnisse können aber auch nicht als Indiz gegen fächerübergreifende Ansätze gewertet werden. Folgerichtig zieht Labudde (2003, S. 64) das Fazit:

„Fächerübergreifender Unterricht in und mit Physik - als komplementäre Ergänzung des Fachunterrichts - sollte ein konstitutives Element in unseren Schulen werden und nicht nur zur Verzierung dienen. Dabei gilt es, gefächerten Unterricht und fächerübergreifenden Unterricht, Fachlichkeit und Lebenswelt, Lernprozesse und Lernresultate sinnvoll aufeinander abzustimmen.“

4.2 Lernen komplexer Zusammenhänge mit Alltagsbezug

Im Gegensatz zum fächerübergreifenden Schwerpunkt des Themas Energieübertrag bietet der Themenkomplex Fotografieren zwar fächerübergreifende Ansatzpunkte; der Schwerpunkt liegt jedoch hier auf der Komplexität der Zusammenhänge. Allerdings bieten sich Möglichkeiten, dies für modernen Unterricht nutzbar zu machen. So betonen Baumert et. al. (1999), dass sich Simulationen zur Untersuchung von komplexen Problemlöseleistungen bewährt hätten. Dabei könne der Bearbeiter im Explorationsprozess Hypothesen bilden, Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten entwickeln und testen und schließlich das System zur Überprüfung seiner Hypothesen selbst steuern.

Es gibt nun Grund genug anzunehmen, dass eben auch Aspekte von Problemlösekompetenzen mit einer Simulation in dieser Art nicht nur untersucht, sondern auch langfristig vermittelt werden können. Dabei kommt diesem Aspekt gerade die hohe Komplexität des Inhalts zu Gute – beispielsweise der Zusammenhang von Blende, Belichtungszeit, und Entfernungseinstellung, die auf unterschiedlichen Darstellungsformen ansteuerbar sind und sich auf Schärfe und Bildhelligkeit auswirken.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass beide Themenkomplexe geeignet sind, um einen Unterricht zu ermöglichen, der Ziele anstrebt, die aktueller Unterrichtsforschung genügen. Es sind komplexe, im Kontext angebotene Inhalte, die eine Lernsituation bieten, welche das Anwenden von Wissen unter authentischen Be-

dingungen erfordert. Inhaltsgebiete mit solch einer Zielsetzung sind vermutlich für die Umsetzung von Ansätzen des situierten Lernens besonders geeignet.

4.3 Ansätze situierten Lernens

Mandl, Gruber & Renkl (2002) betrachten es als wesentliche Forderung des situierten Lernens, Lern- und Anwendungssituationen ähnlich zu gestalten, da Wissen als kontextbezogen angenommen wird. Einige typische Gemeinsamkeiten der meisten Ansätze zum situierten Lernen sind:

- Das Verwenden komplexer Ausgangsprobleme
- Der Umgang mit realistischen Problemen in authentischem Anwendungskontext
- Anwendungen in multiplen Kontexten

Als wichtige Strömungen des situierten Lernens nennen Mandl, Gruber & Renkl (2002) unter anderem den Anchored-Instruction-Ansatz (vgl. Bransford, Sherwood, Hasselbring, Kinzer, & Williams, 1990 sowie Cognition and Technology Group at Vanderbilt, 1993) sowie die Theorie der kognitiven Flexibilität (vgl. Spiro et al., 1988 sowie Spiro & Jehng, 1990).

4.3.1 Anchored-Instruction-Ansatz

Bransford et al. (1990) bemängeln, dass die traditionelle Form des Unterrichts träges Wissen hervorbringen würde. Als Alternative bieten sie den Anchored-Instruction-Ansatz an. Dabei gehen sie davon aus, dass Lernenden Information problemorientiert und in einen Kontext eingebunden angeboten werden soll. So sind sie eher in der Lage und bereit, Wissen auch in neuen Situationen zu verwenden. Dabei schlagen sie kleine Geschichten vor, die ein Problem enthalten, das es zu lösen gilt. Diese werden in Form eines kleinen Videofilms der Unterrichtssituation vorangestellt. Allerdings betont die Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1993) auch, dass Simulationen ein ebenfalls guter Zugang zu einer vergleichbaren Lernsituation sein können, in der Lernende beginnen, Fragen in der

Art: „Was passiert, wenn...?“ zu stellen. Diesbezüglich lassen sich die Problemstellung bei der Kamera sowie die Lernumgebung zur Energie mit ihrer umfassenden Aufgabe, in einer Simulation ein virtuelles Säugetier durch den Winter zu bringen, als solche kontextbezogenen Anker werten (siehe Abb. 11, konzipiert und gestaltet von Steffen Schaal).

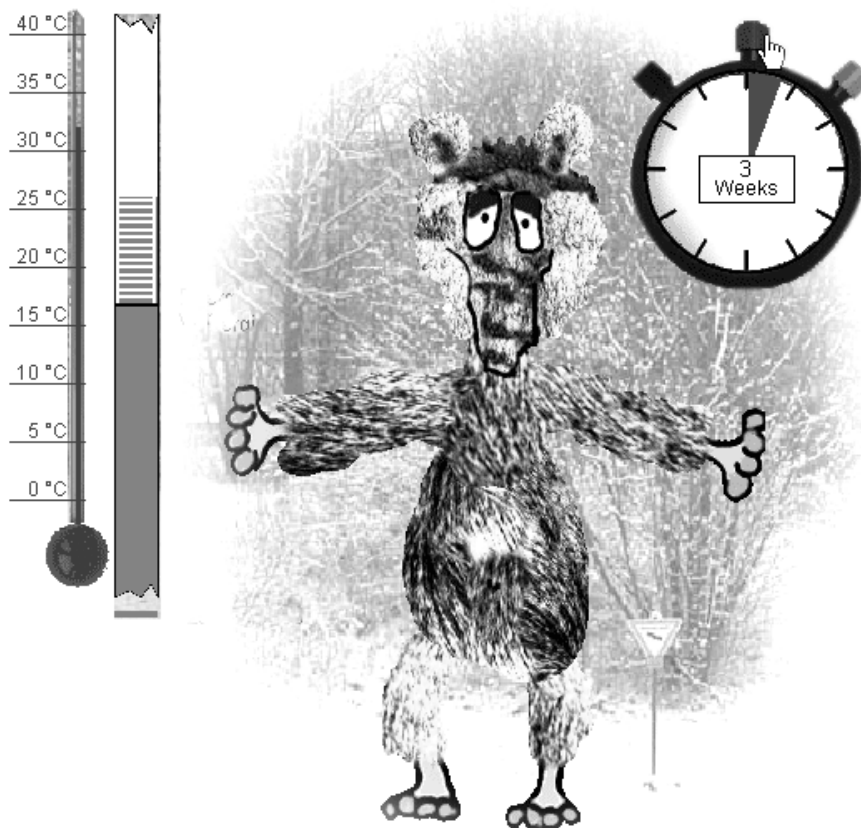


Abb. 11: Virtuelles Säugetier zum Erlernen von Überwinterungsstrategien

Der Anchored-Instruction-Ansatz spielte zwar für die Planung und Umsetzung der Unterrichtseinheiten eine wesentliche Rolle, damit verbundene Auswirkungen sollen aber in dieser Arbeit nicht untersucht werden. Dem hingegen bietet die Theorie der kognitiven Flexibilität einen theoretischen Rahmen zur Konstruktion der Lernumgebung.

4.3.2 Theorie der kognitiven Flexibilität

Die Theorie der kognitiven Flexibilität (Spiro, Coulson, Feltovich & Anderson 1988 sowie Spiro, Feltovich, Jacobson & Coulson 1992) bietet Ansätze, wie Wissen von komplexen Inhalten erworben werden kann, das in verschiedenen Kontexten flexibel anwendbar ist.

Eine zu starke Vereinfachung sehen Spiro et al. (1988) als eine grundlegende Ursache für Fehlvorstellungen und Verständnisprobleme der Lernenden in komplexen Wissensgebieten. Dies gilt besonders, wenn es viele Ausnahmen gibt, Details vielfältig miteinander verknüpft werden müssen und die Zusammenhänge sich nicht ganz einfach darstellen lassen. Unter anderem betonen sie, dass durch die zu starke Vereinfachung der Lernangebote die Lernenden später mental auf nur einen Prototyp in der Darstellung zurückgreifen können. Des Weiteren halten sie es für bedenklich, dass vorgefertigtes Wissen nur übernommen wird, ohne dass dabei eigene Wissensrepräsentationen in einem aktiven Lernprozess entwickelt werden können. „Knowledge that will have to be used in many ways has to be learned, represented and tried out (in application) in many ways“ (Spiro et al., 1988, S. 378).

Als Konsequenz davon schlagen Spiro et al. (1988) insbesondere für den fortgeschrittenen Wissenserwerb deshalb die Umsetzung folgender Prinzipien bei der Gestaltung von Lehr-Lern-Prozessen vor:

- Vermeidung von zu starker Vereinfachung
- Verankerung am Beispiel
- Anwendungsorientierung
- Ersetzen von starren Wissensstrukturen durch rekombinierbare Strukturen
- Vielseitige Repräsentationen der Inhalte
- Aktives Lernen mit Unterstützung

Auf die letzten beiden Punkte wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit besondere Aufmerksamkeit gerichtet. In diesem Ansatz spielt auch der Einsatz von Computern eine zentrale Rolle. Damit sich Lernende die Verbindungen zwischen den Einzelbeispielen und die komplexen Zusammenhänge selbst erarbeiten können, empfehlen Spiro et al. (1992) Informationsangebote basierend auf Hypertextsystemen. Das Durcharbeiten einer hypermedialen Lernumgebung sei dem Erkunden einer Landschaft ähnlich, wobei die Lernenden diese konzeptuelle Landschaft durchlaufen. Bestimmte Punkte dieser konzeptuellen Landschaft würden so immer wieder aus verschiedenen Richtungen und aus verschiedenen Anlässen heraus besucht.

Mit einem Unterricht, der nach diesen Prinzipien gestaltet ist, soll kognitive Flexibilität im Wissensgebiet unterstützt werden. Diesen Begriff gilt es, an dieser Stelle zu klären. Kognitive Flexibilität meint, angelehnt an Spiro et al. (1988), ...

...die situationsabhängige Auswahl einer geeigneten mentalen Repräsentation und ihre angemessene Verwendung in einer speziellen Anwendungssituation.

Dafür sollte Wissen durch mehrere Konzepte repräsentiert werden, und die mentalen Repräsentationen sollten kombinierbar sein und nicht als fertige Strukturen abgerufen werden können (Spiro & Jehng 1990).

Die Theorie der kognitiven Flexibilität kann als Basis für die Entwicklung der in diesem Projekt eingesetzten Software betrachtet werden. Dabei wurde aber keinesfalls dogmatisch gearbeitet, sondern vielmehr wurden nur einige wesentliche Aspekte berücksichtigt und diese durch andere, vor allem auf Empirie beruhende Prinzipien ergänzt, die meist aus kognitionspsychologischen Grundlagen abzuleiten sind.

5 Kognitionspsychologische Begriffe

Im Folgenden werden die kognitionspsychologischen Grundlagen für die Entwicklung der Software zusammengefasst, auf die im weiteren Verlauf immer wieder zurückgegriffen wird. Das Gedächtnissystem, in welchem interne Repräsentationen von Information verarbeitet oder gespeichert werden, ist dabei die Basis. Darüber hinaus sind Formen der internen Repräsentationen von Bedeutung. Auch ein wichtiger Aspekt von Lernen, nämlich die Veränderung von Wissen, wird kurz erläutert.

5.1 Gedächtnis

Information wird über die Sinne wahrgenommen, im Gehirn verarbeitet und gespeichert. Analog dazu unterscheidet Anderson (2000) zwischen den kurzzeitig aktiven Gedächtnissystemen - dazu zählen das sensorische Gedächtnis und das Arbeitsgedächtnis - und einer eher dauerhaften Speicherung der Information.

5.1.1 Sensorisches Gedächtnis

Im sensorischen Gedächtnis werden durch die Sinneskanäle aufgenommene Informationen zwischengespeichert. Es ermöglicht – gesteuert über die Aufmerksamkeit - die Auswahl relevanter Informationen. Die Wahrnehmungen müssen so lange in jeweils von sinneskanalabhängigen Systemen aktiv gehalten werden, bis sie identifiziert sind und bis eine dauerhafte Repräsentation angelegt wurde (Anderson, 1996 sowie 2000).

5.1.2 Arbeitsgedächtnis

Das Arbeitsgedächtnis dient der Verarbeitung der Information. Baddeley (1992) geht davon aus, dass das Arbeitsgedächtnis für die Informationsverarbeitung und Informationszwischenspeicherung verwendet wird und Prozesse wie Sprachverständnis und Schlussfolgerungen ermöglicht. Er unterteilt es in drei Komponenten:

- Der räumlich visuelle Notizblock - ein Bereich, der zur Zwischenspeicherung von räumlich visueller Information dient.
- Die phonologische Schleife - ein Bereich, der für die Zwischenspeicherung von Sprache und Ziffern zuständig ist. Geschriebene Worte oder benennbare Bilder werden ebenfalls dort gespeichert.
- Die zentrale Exekutive - ein steuerndes Zentrum, das unter anderem die Aufmerksamkeit leitet und die Information der beiden oben genannten untergeordneten Komponenten koordiniert.

Sweller, van Merriënboër & Paas (1998) gehen davon aus, dass ausschließlich Information, die im Arbeitsgedächtnis aktiv gehalten wird, auch bewusst ist. Es ist überdies davon auszugehen, dass das Arbeitsgedächtnis in seiner Kapazität beschränkt ist. Dabei besteht die Einschränkung nicht bezüglich der Informationsmenge als solcher, vielmehr ist die Anzahl der einzelnen Sinneinheiten beschränkt (Miller, 1956 sowie Sweller, van Merriënboër & Paas, 1998).

5.1.3 Langzeitgedächtnis

Die langfristige Speicherung der Information findet im Langzeitgedächtnis statt. Dabei hängen Speicherung und Abruf der Information von vielerlei Faktoren ab. So verbessert beispielsweise Übung die Stärke der Gedächtnisspur und damit auch die Abrufbarkeit der Information (Anderson, 1996). Aber auch das Konzept der Verarbeitungstiefe lässt sich bezüglich der langfristigen Speicherung nutzbar machen. Craik & Lockhart (1972) betonen, dass die Nachhaltigkeit einer Erinnerung im Gedächtnis davon abhängt, wie intensiv ein Reiz verarbeitet wurde und wie die Information elaboriert wurde. Überhaupt ist davon auszugehen, dass die Kapazität des Langzeitgedächtnisses nahezu unbegrenzt und nicht direkt bewusst ist (Sweller, van Merriënboër & Paas, 1998 sowie Sweller, 2002).

5.2 Interne Repräsentationen des Wissens

Information wird als interne Repräsentation im Gedächtnis gespeichert. Im Folgenden sollen dazu einige kognitionspsychologische Konstrukte vorgestellt werden. Dabei soll deutlich werden, welche Eigenschaften diese mentalen Repräsentationen nach Auffassung verschiedener Autoren haben können. Ihre Verwendung ist aber eher uneinheitlich. Allen gemeinsam ist, dass sie keine identischen Abbildungen der Außenwelt, sondern auf den Bedeutungsgehalt reduziert sind (Anderson, 1996). Für den weiteren Verlauf der Arbeit sind insbesondere der Ansatz zu mentalen Modellen und der Schemabegriff zu klären. Beide Ansätze ergänzen sich teilweise, überlappen sich und existieren parallel nebeneinander - und können jeweils bestimmte Erscheinungen erklären. Vorangestellt wird ein Exkurs zu Propositionen als kleinste selbstständige Wissenseinheit, der noch für die Modelle der Informationsbearbeitung von Bedeutung sein wird.

5.2.1 Propositionen

Eine Proposition ist „die kleinste Wissenseinheit, die eine selbständige (das heißt, von andern Wissenseinheiten unabhängige) Aussage bilden kann“ (Anderson, 1996, S. 141). Sie ist das Resultat, wenn von sprachlicher oder auch bildhafter Darstellung der Bedeutungsgehalt abstrahiert wird. Auch dabei bleibt keinesfalls der genaue Wortlaut, respektive die bildhafte Darstellung erhalten (Anderson, 1996). Überdies können Propositionen in hierarchischen Netzwerken organisiert und letztlich zu Schemata zusammengesetzt werden. Für Johnson-Laird (1980) sind propositionale Repräsentationen häufig eine erste mentale Darstellung der Information. Sie haben eine eigene Struktur, die einer normalen Sprache ähnelt. Sie sind damit auch an eine vorgegebene Richtung gebunden. Dabei ist ihre Struktur in keiner Weise analog zu der Struktur, die sie darstellen. Dabei können sie wahr und falsch sein. Dies gilt zwar nicht gegenüber der ganzen Welt, sondern vielmehr den eigenen mentalen Modellen gegenüber, die das Bild dieser realen Welt darstellen.

5.2.2 Schemata

Nach Anderson (1996, S. 152) „repräsentieren Schemata Konzepte in Form von Oberbegriffen, Teilen und anderen Zuweisungen von Ausprägungen und Attributen“.

Weidenmann (1991) versteht unter einem Schema die als Prototypen gespeicherten Vorstellungen von Objekten, die uns häufig begegnen. Erkennen wir an einem neuen Objekt mehrere der abgespeicherten Merkmale, so ordnen wir dieses Objekt in das zugehörige Schema ein. Mandl, Friedrich & Hron (1988) fassen die Eigenschaften von Schemata folgendermaßen zusammen, von denen einige im Folgenden relevant sind:

- Schemata sind kognitive Strukturen, in denen typische Zusammenhänge eines Realitätsbereichs organisiert sind.
- Schemata haben Leerstellen, die gegebenenfalls mit bestimmten Variablen gefüllt werden können.
- Schemata können ineinander eingebettet sein, sodass hierarchische Strukturen entstehen.
- Schemata repräsentieren Wissen unterschiedlichster Inhaltsbereiche.

Eine wieder etwas andere Vorstellung von Schemata und Schemaautomation bieten Sweller, van Merriënboër & Paas (1998) an. So spielt bei ihnen der Inhalt eines Schemas keine Rolle, solange das Schema als eine Einheit verarbeitet werden kann. Dabei habe die Schemakonstruktion zwei Aufgaben, nämlich die Speicherung von Information im Langzeitgedächtnis und die Reduktion der Belastung des Arbeitsgedächtnisses, indem möglichst große Informationsmengen als Einheiten verarbeitet werden können. Deshalb wird auch Übung als wichtiges Element der Schemaautomation verstanden. Anzumerken ist, dass Sweller, van Merriënboër & Paas (1998) auf andere mentale Repräsentationsformen wie Skripte, mentale Modelle oder Propositionen in ihren Ausführungen weitgehend verzichten. So wird bei-

spielsweise der Restaurantbesuch bei Sweller, van Merriënboër & Paas (1998) als Schema bezeichnet, den andere Autoren aber als ein typisches Beispiel für ein Skript sehen. Diese Sicht von Schemata ist deshalb relevant, weil sie die Grundlage der cognitive load theory bildet.

Wie bereits hier beim Begriff Schema deutlich geworden sein sollte, werden auch mentale Modelle begrifflich nicht einheitlich definiert.

5.2.3 Mentale Modelle

Mentale Modelle sind hypothetische Konstrukte der Kognitionspsychologie, die eine Form der internalen Repräsentationen beschreiben. Obwohl nicht präzise definiert, bieten sie ein hilfreiches Grundkonzept, um Lernen in komplexen Themenbereichen theoretisch zugänglich zu machen.

Johnson-Laird (1980) betrachtet mentale Modelle im Gegensatz zu Propositionen als eine analoge Abbildung von Ausschnitten der realen Welt. Sie lassen sich einerseits aus bereits vorhandenen Propositionen zusammenstellen oder aber auch durch direkte Wahrnehmung, beispielsweise von Bildern, aufbauen. Dabei betrachtet er sie als generelle interne Symbole, worunter er auch Vorstellungsbilder einordnet. Sie sind eine Basis der menschlichen Expertise, die auch aus dem Langzeitgedächtnis abrufbar ist. Canäs, Antoli & Quesada (2001) nehmen hingegen an, dass ein mentales Modell eine dynamische Repräsentation ist, die sich im Arbeitsgedächtnis konstituiert und auf Informationen aus dem Langzeitgedächtnis zurückgreift.

Für diese in sich zusammenhängenden Konstrukte der Kognitionswissenschaft sieht Seel (1986) die Hauptaufgaben in der Wahrnehmung und Denkmodellierung. Demzufolge werden sie im Arbeitsgedächtnis aufgebaut. Dazu würden beispielsweise Schemata aus dem Langzeitgedächtnis und die wahrgenommenen Informationen miteinander verknüpft, und es entsteht ein daran angepasstes mentales Modell. So lassen sich insbesondere unzugängliche komplexe Bereiche erschließen, die sich der direkten Wahrnehmung entziehen. Auch Dutke (1994) betrachtet ein mentales Modell zum Verstehen eines neuen Sachverhalts als eine Instantisierung

eines oder mehrer Schemata. Zur Konstruktion des mentalen Modells werden die Leerstellen der Schemata durch die Gegebenheiten einer spezifischen Situation ausgefüllt und so das Verstehen des neuen Sachverhalts ermöglicht.

Auch Weidenmann (1991) sieht in mentalen Modellen Vorstellungen, die zu komplexen Abläufen und Zusammenhängen aufgebaut wurden. Er betrachtet es als ein typisches Merkmal, dass diese Vorstellungen in Gedanken durchgespielt werden können. Dies sei vergleichbar einer Simulation, in der Eingaben verändert werden können. Ein klassisches Beispiel ist das Funktionsprinzip des elektrischen Summers (de Kleer & Brown, 1983.) Durch solche mentalen Manipulationen kann auch Schlussfolgern erklärt werden. Indem ein mentales Modell von der Situation aufgebaut wird, das auf seine Zerstörung hin getestet wird, können logische Zusammenhänge überprüft werden. Damit wird das mentale Modell auf seine Widersprüche bezüglich der Voraussetzungen überprüft (Johnson-Laird, 1980). Dutke (1994) fasst die unterschiedlichen Funktionen zusammen. Er nennt unter anderem das Verstehen von Sachverhalten oder die Planung und Steuerung von Handlungen, wobei Modelle von bestimmten Sachverhalten diesbezüglich individuelle Schwerpunkte aufweisen können und stärker verstehensorientiert oder auch eher handlungsorientiert sein können. Gemeinsam ist ihnen jedoch, dass sie schwer zu verändern sind, wenn sie sich als nützlich erwiesen haben.

Dutke (1994) unterstreicht, dass mentale Modelle die Umwelt verkürzt abbilden und eine zunehmende Elaboration erfahren. So sieht auch Weidenmann (1993) Unterschiede in der Qualität mentaler Modelle von Novizen und Experten. Während Experten meist über die Oberflächenmerkmale hinweg auch imaginationsfähige Strukturmerkmale in mentalen Modellen repräsentiert haben, haben Novizen mithin mentale Modelle, die ausschließlich auf Oberflächenmerkmale beschränkt sind.

Speziell zum Erlernen physikalischer Inhalte beschreiben Forbus & Gentner (1996) vier Stufen verschiedener Qualität von mentalen Modellen, die sich insbesondere im Grad der Verkürzung und der Verknüpfung unterscheiden:

- 1) In einer ersten Stufe sind die Modelle noch umfangreich und kontextspezifisch und erlauben ein erstes Einordnen des Inhalts beruhend auf Ähnlichkeiten.
- 2) In einer zweiten Stufe werden bereits kausale, meist binäre Zusammenhänge zwischen einzelnen Sinneinheiten geknüpft.
- 3) In einer dritten Stufe können Zusammenhänge bereits qualitativ beschrieben werden, wobei sich Prozesse kombinieren und qualitative Simulation durchführen lassen. Überdies lässt das Modell durch die Interpretation von Messergebnissen bereits Rückschlüsse auf die gegebenen Bedingungen zu.
- 4) In einer vierten Stufe, die als Expertenmodell bezeichnet wird, sind bereits Generalisierungen möglich, die vom eigentlichen Inhalt losgelöst sind. Überdies lassen sich die Zusammenhänge in manchen Fällen auch mit mathematisch-abstrakten Beschreibungen fassen.

Insgesamt hält Ballstaedt (1997) das kognitionswissenschaftliche Konstrukt „mentales Modell“ für problematisch. Mentale Modelle seien schwer zu erfassen, da sie in allen Darstellungsformen ausgedrückt werden könnten und zudem bestehe keine einheitliche Theorie zu dieser Wissensform. Zugespielt formuliert er: „Mentale Modelle bilden den theoretischen Alleskleber, der konzeptuelle, anschauliche und prozedurale Wissensformen miteinander verknüpft“ (Ballstaedt, 1997, S. 5).

Dennoch, ganz gleich wie sie nun aussehen, erweisen sich mentale Modelle als nützliche Konstrukte. Im Folgenden werden deshalb insbesondere ihr Grad an Abstraktion und ihre Verknüpftheit als Grad der Expertise, ihr analoger Charakter, und ihre Manipulierbarkeit im Arbeitsgedächtnis zum Erfassen und Bearbeiten und zum Erlernen komplexer physikalischer Aspekte als ihre zentrale Eigenschaft vorausgesetzt. Hauptsächlich im Zusammenhang mit dem Modell von Schnotz & Bannert (1999) wird noch von mentalen Modellen die Rede sein.

5.3 Veränderung von Wissen

„Lernen ist der Prozess, durch den anhaltende Veränderungen der Verhaltensmöglichkeiten als Ergebnis von Erfahrungen stattfinden“ (Anderson, 2000, S. 4 übersetzt vom Autor). Anderson (2000) sieht in dieser Definition von Lernen, die er als die gebräuchlichste betrachtet, wesentliche Schlüsselbegriffe beinhaltet.

Ein wichtiger Teilaspekt ist dabei die Veränderung von bestehenden Wissensstrukturen. „Diese Veränderung kann Erweiterung, Korrektur oder sogar völlige Neukonstruktion der Wissensstruktur bedeuten“ (Weidenmann 1991, S. 33).

Diese Veränderung der Wissensstrukturen lässt sich je nach Auffassung auf alle Arten von mentalen Repräsentationen von Wissen im Langzeitgedächtnis anwenden. Dabei ist keineswegs gesagt, ob eine Wissensstruktur dadurch nutzbarer ist oder die Umwelt besser erfasst. Deshalb soll in dieser Arbeit von Lernerfolg weiter einschränkend nur bei Veränderung von Wissen in Richtung Expertise die Rede sein.

Geht man nun von mentalen Modellen im Sinne von Forbus & Gentner (1986) aus, so ließen sich hier auch die angesprochenen Stufen zur Ermittlung von Lernzuwächsen heranziehen. Also sind beispielsweise nur binäre Zusammenhänge zu durchschauen oder können auch verknüpft werden. Schemata (wie sie beispielsweise Mandl, Friedrich & Hron, 1988 sehen) könnten in Punkto ihrer Elaboration aber auch bezüglich der Vernetztheit in semantischen Netzwerken herangezogen werden. Dieser Aspekt ließe sich mit Concept-Mapping Verfahren analysieren. Ergebnisse zu diesem Aspekt aus der Lernumgebung zum Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien von Tieren finden sich in Schaal & Bogner (2005). Unerlässlich ist jedoch stets ein Vergleich von Wissen vorher zum Wissen nachher.

6 Das besondere Potential von Multimedia

Lernen mit Multimedia bietet besondere Möglichkeiten, stellt aber besondere Anforderungen an die Lernenden. Bevor die Verarbeitung angesprochen werden kann, ist zuerst zu klären, was Multimedia ist und welche besonderen Qualitäten Multimedia hat.

6.1 Multimedia

„Der Begriff Multimedia ist ebenso verbreitet wie für den wissenschaftlichen Diskurs ungeeignet“ Weidenmann (2002 b, S. 45).

Neben der sehr häufigen Verwendung in der Literatur, liegt dies auch an einer Vielzahl an Definitionen. So bietet Weidenmann (2002 b, S. 47) folgende an: „Multimedial seien Angebote, die auf unterschiedliche Speicher- und Präsentationstechnologien verteilt sind, aber integriert präsentiert werden...“. Mayer (1997) versteht unter Multimedialernen, wenn Information in mehr als einem Modus präsentiert wird, beispielsweise in Sprache und Bildern. Dabei unterscheidet er zwischen dem Medium, in dem die Information angeboten wird, der Sinnensmodalität, mit der sie verarbeitet wird und dem Darstellungscode. Ein häufig als Synonym gebrauchter Begriff sind Neue Medien. Girwidz (2002 b) sieht bei diesem Begriff die Schwierigkeit, dass er einen sehr weiten Bereich umfasst und betrachtet die Teilbereiche Multimedia, Hypermedien und digitale Medien als präziser gefasst.

Mit diesen Begriffen ließen sich zwar Präzisierungen in dieser Arbeit durchführen, die Crux der unscharfen Verwendung in der Literatur bliebe aber bestehen. Als Lösung bietet sich deshalb an, das Besondere am Informationsangebot über dessen spezielle Qualitäten zu definieren. So zeichnet sich die Informations- und Interaktionsstruktur von „Multimedia“ durch Multimodalität, Multicodierung und Interaktivität aus. Dies sind aus fachdidaktischer und lernpsychologischer Sicht die besonderen Stärken (Girwidz, 2004 sowie Girwidz, Bogner, Rubitzko & Schaal, eingereicht a). Dieser Ansatz schließt die Idee Weidenmanns (2002 b) mit ein, der eben-

falls in Multicodierung und Multimodalität Faktoren des Arbeitens mit Multimedia betrachtet, welche das Lernen beeinflussen. Überdies soll eine weitere Eigenschaft von multimedialen Angeboten genannt werden, die besonders bei empirischen Untersuchungen immer wieder angesprochen wird: die Zeitabhängigkeit in den Darstellungen (Dynamik). Zu beurteilen, ob es sich beim jeweiligen Informationsangebot nun tatsächlich um Digitale und Neue Medien, Multi- oder gar Hypermedien handelt, sei dem Leser überlassen – sicher ist nur, dass der Computer stets eine zentrale Rolle spielt.

6.2 Multimodalität

„Multimodal seien Angebote, die unterschiedliche Sinnesmodalitäten bei den Nutzern ansprechen“ (Weidenmann, 2002 b, S. 47).

Solange Rechner nur nach PVC riechen und „Datenhandschuhe“ zur Informationsübertragung nicht zur Standardausrüstung gehören, lässt sich Multimodalität im Rahmen eines multimedialen Angebots auf die Präsentation von Information sowohl in visueller als auch in auditiver Form reduzieren.

Die Kombination beider Modi kann beispielsweise helfen, Zusammenhänge in der Akustik zu verdeutlichen. Hörbeispiele können durch den Einsatz von Multimedia mit grafischen Darstellungen verknüpft werden (Girwidz, 2002 a). Die Auswirkungen auf den Prozess der Informationsverarbeitung selbst werden bei den jeweiligen Modellen zur Informationsverarbeitung noch näher erläutert.

6.3 Multicodierung

Weidenmann (2002 b) versteht unter multicodalen Angeboten solche, die unterschiedliche Symbolsysteme oder Codierungen aufweisen. Dabei ist die Kombination von pictoralen, verbalen oder zahlgebundenen Darstellungen gemeint. Diese Unterscheidung der verschiedenen Codesysteme lässt sich aus Theorien zur Informationsverarbeitung ableiten. So unterscheiden beispielsweise Clark & Paivio (1991), Schnotz & Bannert (1999 sowie 2003), aber auch Mayer (1997) ebenfalls

zwischen einer bildhaften und textbasierten Verarbeitungsschiene in ihren Modellen (siehe unten). Neben mehreren wirklich unterschiedlichen Codesystemen lassen sich auch Angebote anhand verschiedener Darstellungsformen unterscheiden. Dies sind Texte, Charts, Tabellen, Diagramme, Abbilder, Piktogramme, Karten wie sie Ballstaedt (1997) als Grundformen der Darstellung nennt. Für Multimedia geradezu typisch sind auch interaktive Bilder, Animationen, Simulationen und Filme sowie die Kombination der einzelnen hier genannten Repräsentationen.

6.4 Interaktivität

Interaktivität beschreibt die Eigenschaft von Computersystemen, durch die der Benutzer Eingriffs- und Steuermöglichkeiten hat (Haack, 2002). Moderne didaktische Ansätze, die von hoher Aktivität bei den Lernenden ausgehen, können nur mit einem anspruchsvollen Interface- und Interaktionsdesign erfüllt werden. Dabei zeichnet sich die Qualität eines Lernprogramms eben durch Interaktivität und dem darin integrierten Feedback aus (Strzebkowski, 1995).

Schulmeister (2002, S. 194 ff.) schlägt dazu eine Taxonomie der Interaktivität in fünf Stufen vor. Dabei wird mit Zunahme der Interaktivität auch der Ereignisraum vielfältiger, der Darstellungsraum variantenreicher und der Bedeutungsraum wächst:

- Objekte betrachten und rezipieren
- Multiple Darstellungen betrachten und rezipieren
- Die Repräsentationsform variieren
- Den Inhalt der Komponente modifizieren
- Das Objekt bzw. den Inhalt der Repräsentation konstruieren

Strzebkowski & Kleeberg (2002) unterscheiden, ob dabei Steuerungsinteraktionen wie beispielsweise das Vorspulen eines Film oder auch didaktische Interaktionen wie beispielsweise das Manipulieren eines Modells vom Computersystem angeboten werden. Dabei gehen sie davon aus, dass von didaktisch sinnvollen Interaktionsmöglichkeiten nur dann gesprochen werden kann, wenn beispielsweise aktives Denken und Elaborationsprozesse ausgelöst werden oder Lernende zum einsichtsvollen und entdeckenden Lernen angeregt werden.

Zusammenfassend gesagt, kann durch Interaktivität lernwirksame selbstgesteuerte Aktivität beim Lernen mit Multimedia ermöglicht werden.

6.5 Dynamik

Die Dynamik, also die Veränderung des Informationsangebotes mit der Zeit, ist eine weitere, aber selten explizit genannte Eigenschaft oder besser eine Möglichkeit von Multimedia. So können Informationen mit verschiedenen Ablaufgeschwindigkeiten, Ablaufrichtungen und mit beliebiger Taktung und Sprüngen im zeitlichen Verlauf angeboten werden. So besteht gerade im Zusammenhang mit Themen aus dem Fach Physik die Möglichkeit, Prozesse zeitgetreu oder die zeitlichen Verhältnisse erhaltend abzubilden, bei denen das zeitliche Verhältnis von Teilvorgängen von Interesse ist (Girwidz, Rubitzko & Spannagel, 2004). Allerdings stellt das Verarbeiten dynamischer Darstellungen wiederum spezielle Anforderungen an die Lernenden.

7 Theorien und Modelle zur Informationsverarbeitung

Im Folgenden werden einschlägige Ansätze zur Informationsverarbeitung vorgestellt. Dies sind vor allem die Theorie zum Lernen mit Multimedia (Mayer, 1997, 2001), die Theorie zum Text- und Bildverstehen (Schnotz & Bannert 1999), aber auch die cognitive load theory (Chandler & Sweller 1991 sowie Sweller, van Merriënboër & Paas, 1998). Ihnen gemeinsam ist, dass in verschiedenen Codesystemen und Sinnesmodalitäten angebotene Information abhängig vom Vorwissen aktiv von den Lernenden verarbeitet wird. Hieraus wird der Schwerpunkt dieser Arbeit am Ende des Kapitels abgeleitet.

7.1 Theorie zum Lernen mit Multimedia

Mayer (1997, 2001) bietet ein Modell zum Lernen mit Multimedia an, das im Wesentlichen auf der bereits skizzierten Überlegung von Baddeley (1992) zum Arbeitsgedächtnis, auf der Dual-Coding-theory (Clark & Paivio 1991) und auf Ideen Wittrocks (1974) basiert.

Die Dual-Coding-theory (Clark & Paivio, 1991) geht von zwei getrennten mentalen Systemen aus, einem verbalen und einem nonverbalen System, in denen Information verarbeitet und gespeichert wird. Zwischen beiden Systemen bestehen Verbindungen, mit denen Wörtern nonverbale Vorstellungen beispielsweise Bilder zugeordnet werden und umgekehrt. Der Verarbeitungsprozess ist dabei abhängig von den Vorerfahrungen, der Art des Materials, das verarbeitet werden soll und den individuellen Fähigkeiten und der Neigung mit mentalen Bildern zu arbeiten. Beim Verarbeitungsprozess selbst findet ein ständiger individuell unterschiedlicher Wechsel des Aktivitätsgrads der beiden Systeme statt.

Wittrock (1974) geht davon aus, dass Lernen das aktive Erschaffen von Erkenntnis und Bedeutung ist, das mit bereits früher Gelerntem in Einklang zu bringen ist. Dabei schafft der Lernende Verbindungen zwischen Reiz und Vorwissen, die im Langzeitgedächtnis gespeichert sind. Wittrock geht davon aus, dass Instruktion, die

dieses Verbinden von Reiz und Vorwissen unterstützt, das Erinnern des Gelernten und Verstehen erleichtert. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Theorie zum Multimedialernen auf folgenden drei Grundannahmen basiert:

- Die kognitiven Ressourcen bei der Informationsverarbeitung sind beschränkt.
- Die Verarbeitung läuft in zwei unterschiedlichen codespezifischen Kanälen ab.
- Die Verarbeitung der Information ist ein aktiver Prozess.

Hieraus entwickelt Mayer (1997 sowie 2001) sein Modell der Informationsverarbeitung. Information, die beispielsweise auf dem Computer sprachbasiert und bildbasiert angeboten wird, wird über die Sinnesorgane aufgenommen und in Übereinstimmung mit den Überlegungen zum sensorischen Gedächtnis (siehe Abb. 12, aus Mayer, 2001, S. 44) sinneskanalspezifisch aktiv gehalten. Danach beginnt der eigentliche aktive Verarbeitungsprozess im Arbeitsgedächtnis, der sich mit den Stichworten Auswahl der Information, Organisation der Information und Integration der Information unter Verwendung des Vorwissens charakterisieren lässt.

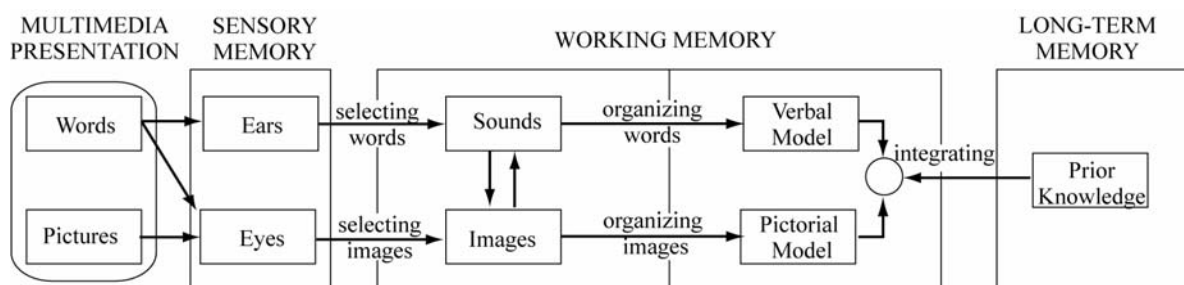


Abb. 12: Prozess der Informationsverarbeitung

Bei der **Auswahl** der relevanten sprachbasierten und bildhaften Information wird die sinneskanalabhängig zwischengespeicherte Sprache aus dem sensorischen Gedächtnis durch den Lernenden aufmerksamkeitsgesteuert ausgewählt und in eine sprachbasierte Repräsentation im Arbeitsgedächtnis umgewandelt. Ebenfalls aufmerksamkeitsgesteuert wird die im sensorischen Gedächtnis bildhaft abgelegte Information ausgewählt und in eine bildhafte Repräsentation im Arbeitsgedächtnis

umgewandelt. Die Auswahl der Information ist schon allein wegen der Begrenztheit des Arbeitsgedächtnisses notwendig. Außerdem wird geschriebene Sprache in die sprachbasierte Repräsentation des Arbeitsgedächtnisses überführt.

Bei der **Organisation** der sprachbasierten und bildbasierten Repräsentation wird die Information abhängig vom Codesystem neu organisiert, indem die einzelnen sprachbasierten beziehungsweise bildhaften Repräsentationen zu eigenständigen mentalen sprachbasierten, beziehungsweise bildhaften Modellen zusammengesetzt werden. Dies ist auch eine Frage der Anstrengung der Lernenden. So hängt es neben der Begrenztheit der Ressourcen des Arbeitsgedächtnisses auch von der Aktivität ab, ob es gelingt, Information sinnstiftend zu organisieren.

Die **Integration** der beiden mentalen Repräsentationen und des Vorwissens aus dem Arbeitsgedächtnis ist der wohl wichtigste Schritt. Dabei werden die codespezifischen Modelle zu einem integrierten Modell verknüpft, in welchem das Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis eingebunden wird. Dieser Prozess bedarf einer effizienten Nutzung der kognitiven Ressourcen. Der Lernende muss nämlich die zugrunde liegende Struktur der beiden Repräsentationsformen erkennen und das Vorwissen dazu benutzen, um den Integrationsprozess zu koordinieren.

Letztlich sind dabei alle diese Prozesse der Verarbeitung störanfällig. Mayer (2001) leitet daher eine Reihe von Gestaltungsprinzipien ab, auf die im Einzelnen noch eingegangen wird.

7.2 Modell zum Text- und Bildverstehen

Als Alternative stellen Schnotz & Bannert (1999) ein integriertes Modell des Text- und Bildverstehens vor (siehe Abb. 13 aus Schnotz & Bannert, 1999, S. 222). Im Gegensatz zum Modell von Mayer, der die Parallelität der Text- und Bildverarbeitung voraussetzt, betonen Schnotz & Bannert (1999) die Unterschiede in der mentalen Repräsentation von text- und bildbasierter Information und der jeweiligen Verarbeitung. Dahingegen bleibt bei Schnotz & Bannert (1999) die Ebene der Sinnesmodalität unberücksichtigt.

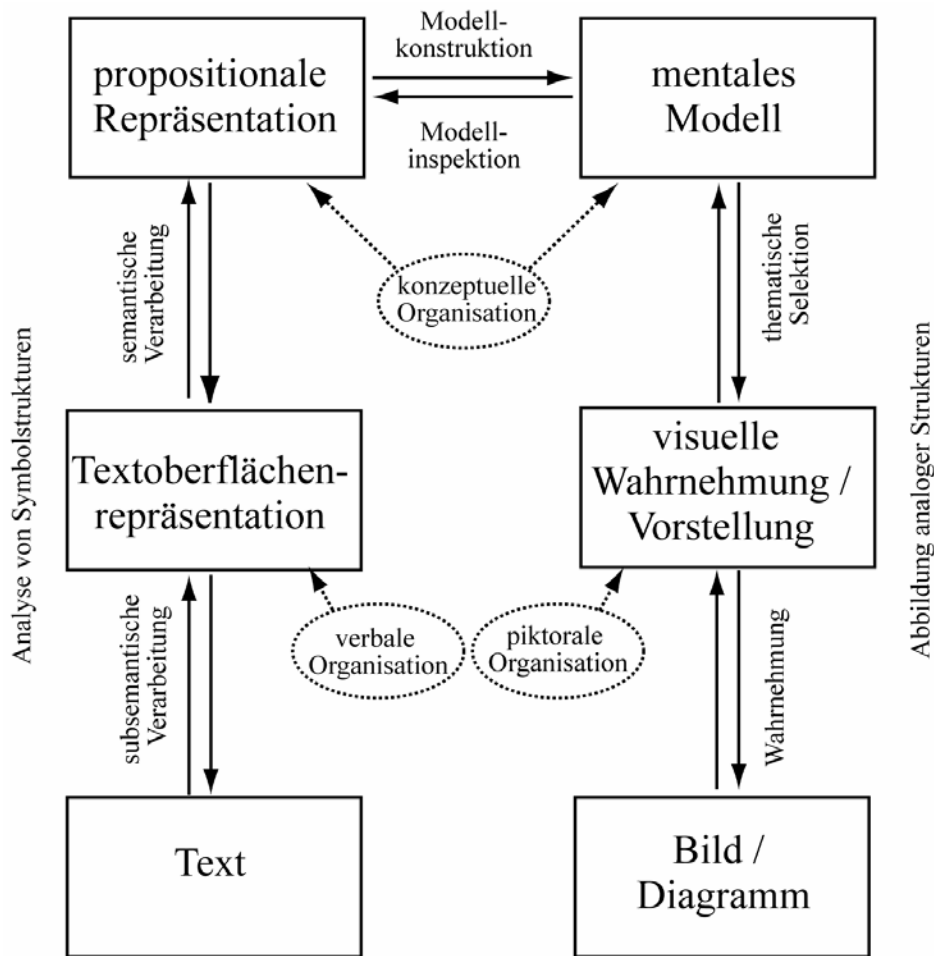


Abb. 13: Integriertes Modell des Text- und Bildverstehens

Der **deskriptive Zweig links** beschreibt, wie aus dem Text durch subsemantische Verarbeitung eine Textoberflächenrepräsentation konstruiert und diese danach semantisch zu einer propositionalen Repräsentation verarbeitet wird. Aus dieser propositionalen Repräsentation wird ein mentales Modell konstruiert. Dabei ist die Auswahl der jeweiligen Information und deren Organisation an bereits vorhandenem Wissen orientiert.

Der **depiktionale Zweig rechts** zeigt, wie das Individuum aus einem Bild durch gesteuerte Wahrnehmungsprozesse eine visuelle Vorstellung entwickelt und daraus durch Analyse der thematischen Struktur, also wiederum semantischer Prozesse, ebenfalls ein mentales Modell des Inhalts konstruiert. Dabei geschieht die Auswahl

der Information vom Individuum gesteuert meist passend zur Aufgabe und überdies können sogar Informationen des „Weltwissens“ in das mentale Modell einfließen, die explizit gar nicht im angebotenen Bild enthalten waren (Schnotz & Bannert, 1999; Schnotz & Bannert 2003 sowie Schnotz, Bannert & Seufert, 2002).

Am **mentalen Modell** - sei es nun aus einem Bild, einem Text oder aus beidem heraus entwickelt - können nun neue Erkenntnisse abgelesen werden (vgl. hierzu auch Weidenmann, 1991). Diese Modellinspektion findet nach Auffassung von Schnotz & Bannert (1999) allerdings wieder in Form von Propositionen statt, deren Überprüfung erneut zur Modellüberarbeitung herangezogen wird.

In der Erweiterung des Modells (Schnotz, Bannert & Seufert, 2002) kommen mit einer Trennung in sensorische Teilspeicher sowohl ein auditives als auch ein visuelles Arbeitsgedächtnis hinzu. Dabei ist insbesondere zu ergänzen, dass im auditiven Arbeitsgedächtnis gehaltene Klangbilder direkt zur Konstruktion eines mentalen Modells verwendet werden können.

7.3 Cognitive load theory

Die Grundidee der cognitive load theory ist, Informationsdarbietung und Instruktion so zu gestalten, dass mentale Ressourcen für den aktiven eigentlichen Lernprozess zur Verfügung gestellt werden, die sonst mit begleitenden Prozessen belegt sind, welche für das Lernen der Inhalte unwesentlich sind. Der eigentliche Lernprozess selbst umfasst Schemakonstruktion und Schemaautomation (Chandler & Sweller, 1991).

Sweller (2002) geht davon aus, dass das Verstehen eines Informationsangebots gleichzusetzen ist mit der Fähigkeit, alle relevanten Informationselemente im Arbeitsgedächtnis simultan zu verarbeiten. Dabei ist wiederum ein Arbeitsgedächtnis mit begrenzter Kapazität und getrennten Verarbeitungskanälen für visuelle und auditive Information vorausgesetzt. Dem Langzeitgedächtnis, in dem Schemata in unterschiedlichen Automationsgraden gespeichert sind, wird hingegen eine nahezu

unbegrenzte Kapazität zugeschrieben (Sweller, 2002 sowie Sweller, van Merriënboër & Paas, 1998).

Nach Auffassung von Sweller, van Merriënboër & Paas (1998) wird beim Lernprozess das Arbeitsgedächtnis mit drei unterschiedlichen Formen des cognitive load belastet, die sich nach deren Ursache kategorisieren lassen. Dies ist das intrinsic load, das extraneous load und das germane load. Diese werden nachfolgend kurz skizziert.

7.3.1 Intrinsic load

Das intrinsic load folgt aus Eigenschaften des angebotenen Inhalts. Lerninhalte lassen sich danach unterscheiden, ob Informationselemente sequentiell verarbeitet werden können oder simultan im Arbeitsgedächtnis gehalten werden müssen, weil sie untereinander interagieren (Sweller, 2002). Dabei bedingen Lerninhalte mit nicht interagierenden Sinneinheiten eine geringere Belastung des Arbeitsgedächtnisses und sind somit leichter zu verstehen, während Lerninhalte, die eine hohe Interaktivität zwischen Sinneinheiten aufweisen, gleichzusetzen sind mit einer hohen Belastung des Arbeitsgedächtnisses; sie sind somit schwerer zu verstehen (Marcus, Cooper & Sweller, 1996). Auch empirische Untersuchungen, bei denen Lernende Probleme mit elektrischen Widerständen lösen mussten und dazu Anleitungen in Form von Diagrammen oder Text bekamen, legen die Vermutung nahe, dass es nicht auf die schiere Menge der Information ankommt, die verarbeitet werden muss, sondern darauf, welche Anzahl von Sinneinheiten simultan verarbeitet werden muss (Marcus, Cooper & Sweller, 1996).

Allerdings ist dieses intrinsic load nicht bei jedem Inhalt für alle Lernenden gleich hoch. Vielmehr ist es als das Zusammenspiel des eigentlichen Lerninhaltes und der Expertise zu betrachten, die der Lernende in diesem Gebiet bereits erreicht hat. Was für den in einem Wissensgebiet unerfahren Lernenden viele interagierende Sinneinheiten darstellt, ist für den erfahrenen Lerner vielleicht nur eine einzelne Einheit. Dieser Unterschied liegt mit daran, ob bereits Schemata vorhanden sind,

mit denen Sinneinheiten zusammengefasst werden können, welche ansonsten einzeln interagieren würden. Letztlich ist also das intrinsic load für den Entwickler von Lernangeboten nicht zu beeinflussen (Sweller, van Merrienboër & Paas, 1998 sowie Marcus, Cooper & Sweller 1996).

Eine hohe Interaktion zwischen einzelnen Sinneinheiten kann nicht nur durch den Inhalt selbst verursacht sein, wie dies beispielsweise beim Lösen einer Gleichung nach einer Variablen der Fall ist, sondern auch von der Methode der Informationsdarbietung (Sweller & Chandler, 1994), wie anschließend gezeigt wird.

7.3.2 Extraneous load

Das extraneous load ist die nicht lernförderliche Belastung des Arbeitsgedächtnisses, die durch das Design und die Organisation des Lernmaterials bedingt ist. Insbesondere, wenn die Belastung durch das intrinsic load bereits hoch ist, kann eine zusätzliche Belastung fatal für Lernprozesse werden, weil dadurch das Arbeitsgedächtnis überlastet wird (Sweller, van Merrienboër & Paas, 1998 sowie Sweller & Chandler, 1994).

Dabei kann die Art der Instruktion durchaus zu einer größeren Belastung des Arbeitsgedächtnisses führen als dies durch die inhaltlichen Eigenschaften des Lernmaterials geschieht. Dies fanden beispielsweise Leung, Low & Sweller (1997) heraus, als sie das Arbeiten mit Gleichungen und ungewohnten Notationen untersuchten. Etliche weitere Quellen dieses extraneous load und wie es zu vermeiden ist, werden jeweils zu gegebener Zeit angesprochen.

7.3.3 Germane load

Neben intrinsic und extraneous load beschreiben Sweller, van Merrienboër & Paas (1998) eine weitere Form der kognitiven Belastung, das germane load. Dieses wird als Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch Prozesse betrachtet, die relevant für die Schemakonstruktion oder Schemaautomation sind. Der Erwerb von Schemata und deren Automation ist dabei eine Möglichkeit, das begrenzte Arbeitsgedächtnis

zu umgehen und dafür das Langzeitgedächtnis auszunutzen (Sweller & Chandler, 1994). Existieren nämlich komplexere Schemata, so können ursprünglich interagierende Sinneinheiten als komplexere Sinneinheiten zusammengefasst werden, was somit das intrinsic load reduziert. Instruktion, die dazu dient, das germane load zu erhöhen, wird im Kapitel Aktivität beim Lernprozess erläutert.

7.3.4 Zusammenspiel der einzelnen Belastungen

Je nachdem, wie nun die einzelnen Anteile das Arbeitgedächtnis belasten, ergeben sich mehr oder weniger effektive Szenarien des Lernens. Folgt man dieser Überlegung, so sollte es die Zielsetzung sein, bei vorgegebenem intrinsic load das extraneous load möglichst stark zu reduzieren und das germane load durch eine geeignete Instruktion, die Schemaerwerb und Schemaautomation fördert, zu erhöhen und dadurch das Lernen zu fördern (Sweller, van Merriënboër & Paas, 1998). Handelt es sich jedoch um Inhalte, deren Sinneinheiten nicht in starkem Maße interagieren, so spielt es kaum eine Rolle, ob das extraneous load hoch ist, da die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses noch ausreicht. Demzufolge ist es dann wichtig, den extraneous load niedrig zu halten, wenn das intrinsic load besonders hoch ist (Sweller & Chandler, 1994 sowie Marcus, Cooper & Sweller, 1996).

Aus der cognitive load theory lässt sich eine Reihe von Effekten ableiten, die eine Wirkung auf den Lernerfolg haben und auf die im Einzelnen an gegebener Stelle noch eingegangen wird. Vorab sei bemerkt, dass eine Generalisierung dieser Effekte schwierig ist. Denn es hängt beispielsweise von den erworbenen Schemata der jeweiligen Lerner und deren Automationsgrad ab, wie sich ein Informationselement zusammensetzt. Und damit, ob mit dem Inhalt ein hohes intrinsic load vorhanden ist. So treten nämlich manche Effekte nur auf, wenn es sich um Lerninhalte mit hoher Interaktivität zwischen den Sinneinheiten handelt (Sweller & Chandler, 1994).

7.4 Einflussfaktoren zur Informationsverarbeitung

Fassen wir kurz zusammen: Aus der Theorie der kognitiven Flexibilität, die sich als theoretische Grundlage für die Gestaltung des Lernangebots zu fächerübergreifenden oder komplexen Inhaltsgebieten anbietet, kommt unter anderem die Forderung nach vielfältigen Repräsentationen und nach aktivem Lernen mit Unterstützung.

Die Frage nach der angemessenen **Darstellungsform** eines Inhalts lässt sich auch aus Sicht der cognitive load theory und den beiden anderen genannten Theorien zum Lernen mit Medien stellen.

Auch die **Aktivität im Lernprozess** wird von Mayer (1997, 2001) betont und lässt sich ebenfalls aus den Überlegungen Schnotz & Bannerts (1999) ableiten. Aber auch seitens der cognitive load theory lässt sich die Frage nach Aktivität im Lernprozess mit der Frage nach der Erhöhung des germane load gleichsetzen.

Dabei betont sowohl die cognitive load theory, die Theorie zum Multimedialernen, als auch das Modell zu Text- und Bildverstehen **Einflüsse personenbezogener Faktoren** auf das Lernen wie beispielsweise inhaltspezifisches Vorwissen.

Goldmann (2003) stellt im Übrigen analog hierzu einige zentrale Fragen der Forschung zum Lernen mit multiplen Repräsentationen in komplexen Wissensgebieten ins Zentrum: Die Frage nach der Effizienz und dem Nutzwert, der durch das Medium entsteht. Die Frage, wie der aktive Verarbeitungsprozesses der Information gefördert werden kann. Die Frage, wie die Unterstützung bei der Verarbeitung der Information aussehen kann. Die Frage, welchen begrenzenden Einfluss das jeweilige Vorwissen auf den Lernerfolg mit multiplen Repräsentationen hat.

Nicht zuletzt auch deshalb werden in den nächsten drei Kapiteln Darstellungsformen, Aktivität im Lernprozess und Einflüsse personenbezogener Faktoren beleuchtet.

8 Darstellungsformen

Im folgenden Kapitel werden zuerst Kriterien zur Unterscheidung von Darstellungsformen diskutiert und für diese Arbeit relevante Formen der Darstellung genannt. Dies sind Bilder, Texte, Text-Bild-Kombinationen, bildhaft-dynamische Darstellungen, interaktiv-bildhaft-dynamische Darstellungen und multiple Repräsentationen.

Zu jeder dieser genannten Darstellungsformen folgt nun ein eigener Abschnitt, bei dem gegebenenfalls verschiedene Ausprägungen vorgestellt und jeweils deren Funktionen aufgezeigt werden. Beispiele aus der Lernumgebung „Energietransport im Kontext von Überwinterungsstrategien von Tieren“ dienen dazu aufzuzeigen, wie diese Funktionen für naturwissenschaftsdidaktische Intentionen konkretisiert werden können.

Mit den besonderen Möglichkeiten einer jeden Darstellungsform gehen aber meist auch gewisse Anforderungen an die Lernenden einher. Aus empirischen Befunden lassen sich nun zu vielen der Darstellungsformen Gestaltungskriterien ableiten, die in der Lernumgebung Umsetzung fanden. Auch hier dienen Beispiele aus der Lernumgebung zur Veranschaulichung, wie diese umgesetzt werden können.

Das Kapitel schließt mit einer Analyse der Gestaltung der virtuellen Kamera ab. So sollen die für diese Arbeit wesentlichen Kriterien anhand dieser Anwendung noch einmal zusammengefasst werden.

8.1 Einteilung der Darstellungsformen

Das Kategorisieren von Darstellungsformen ist schwierig. Zwar lassen sich gesprochener Text von geschriebenem Text, geschriebener Text von Abbildungen, Abbildungen von Filmen, Filme von Animationen und Animationen von Simulationen unterscheiden, dennoch führen Mischformen und Kombinationen zu Problemen. Ballstaedt (1997) nennt beispielsweise Texte, Charts, Tabellen, Diagramme, Abbil-

dungen, Karten und so weiter als Grundformen der externalen Darstellungsformen. Dabei weist er aber gleichzeitig auf den uneinheitlichen Gebrauch dieser Begriffe hin und fasst in seinem Zusammenhang Bild als Oberkategorie auch Tabellen als Bilder auf. Visualisierungen verwendet er im Sinne von Veranschaulichungen und subsumiert darunter konsequent auch Textelemente wie Überschriften oder Spiegelstriche.

Alternativ dazu kann eine Kategorisierung nach verschiedenen besonderen Eigenschaften von Multimedia herangezogen werden. Die Art des Codesystems sowie Interaktivität und Dynamik bieten besondere Möglichkeiten und fordern besondere Fähigkeiten beim Verarbeiten der Information. Aber auch hier treten Schwierigkeiten in der Einteilung auf: Eine solche Gliederung zerfällt in viele Unterbereiche. Überdies sind manche Formen wie Animationen nicht eindeutig einem Bereich zuzuordnen.

Die hier gewählte Kategorisierung beruht auf den einschlägigen Begriffen, wie sie auch Ballstaedt verwendet und umfasst nur Formen, die in den Lernumgebungen auch verwendet wurden. Diese werden nun nach den Charakteristika Codesystem, Dynamik und Interaktivität geordnet (siehe Abb. 14).

Einfache Ordnungsstruktur der Darstellungen in den Lernumgebungen

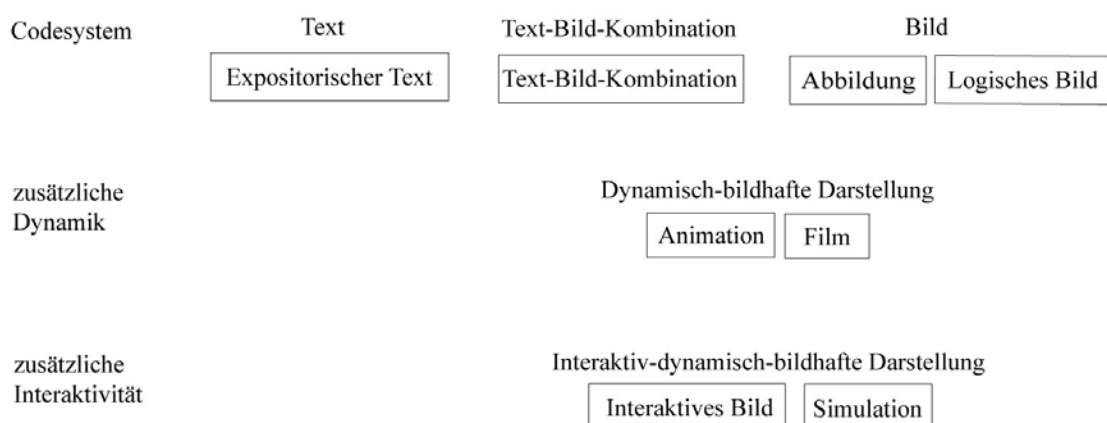


Abb. 14: Ordnungsstruktur der Darstellungsformen

Eine Unterscheidung nach dem Codesystem führt zu **Bildern** und **Texten**. Aus beiden Formen lassen sich **Text-Bild-Kombinationen** erstellen. Kommt zu bildhaften Darstellungen der Aspekt der Dynamik hinzu, so wird im Folgenden von **bildhaft-dynamischen Darstellungen** gesprochen. Namentlich sind dies nicht steuerbare Animationen und Filme. Von **interaktiv-bildhaft-dynamischen Darstellungen** ist die Rede, wenn Lernende Einfluss auf die bildhafte Darstellung nehmen können. Dies sind beispielsweise interaktive Bilder oder Simulationen. **Multiple Repräsentationen** lassen sich dann als Kombination zweier eigenständiger Darstellungen eines Inhalts auffassen.

8.2 Bilder

Unter Bildern werden Darstellungen verstanden, die vorwiegend ein bildhaftes Codesystem aufweisen. Auf Kombinationen von Text und Bild wird später eingegangen.

8.2.1 Formen von Bildern

Nach Weidenmann (1991) lassen sich bildhafte Darstellungen in Abbilder und logisch analytische Bilder unterscheiden. Dabei ist trotz ihres unterschiedlichen Abstraktionsgrades beiden gemeinsam, dass die Informationen simultan angeboten werden. So wird den Lernenden ein Überblick ermöglicht.

Abbilder sind nach Ballstaedt (1997, S. 200) „durch verschiedene Techniken gestaltete Oberflächen, die den Betrachtenden ähnliche visuelle Informationen anbieten wie ein entsprechender Realitätsausschnitt“.

Bei logischen Bildern fällt die Oberflächenähnlichkeit weg. Dafür kommen andere Qualitäten hinzu. Als Beispiele für solche bildhaften abstrakten Formate nennt Winn (1987) Charts, Graphen und Diagramme, bei welchen Informationen unter Nutzung räumlicher Zusammenhänge dargestellt werden:

- Graphen zeigen Zusammenhänge zwischen Variablen, von denen wenigstens eine kontinuierlich ist.
- Charts zeigen Zusammenhänge zwischen kategorialen Variablen.
- Diagramme zeigen hingegen Prozesse oder Strukturen meist komplexer Art. Mit ihnen lassen sich räumliche Beziehungen zwischen Konzepten explizit und bedeutsam machen.

Logische Bilder sieht Fenk (1994) eher als Transformationen räumlicher Metaphern hin zu sichtbaren Analogien. Dabei hängt der Lernerfolg davon ab, wie erfolgreich diese Übersetzung der räumlichen Metapher in das Bild gelingt. Auch für Schnotz (1993) dienen logische Bilder der Darstellung von Zusammenhängen zwischen qualitativen und quantitativen Merkmalen eines Sachverhalts. Dabei repräsentieren sie einen Sachverhalt nicht basierend auf der äußeren Ähnlichkeit, sondern sind durch eine abstrakte Form der Bildhaftigkeit gekennzeichnet.

8.2.2 Funktionen von Bildern

Funktionen von Bildern lassen sich in affektive, motivationale und in kognitive Funktionen unterscheiden (Peeck, 1993). Neben der Dekorationsfunktion, auf die in Zusammenhang mit Text-Bild-Kombinationen noch eingegangen wird, bieten aber Bilder auch die Möglichkeit, beispielsweise durch ungewohnte Perspektive, Neugierde zu wecken oder können durch die Darstellung ästhetischer Naturphänomene motivieren. Im Folgenden soll aber der Schwerpunkt auf kognitiven Funktionen von Bildern liegen. Speziell für den Wissenserwerb mit Bildern identifiziert Weidenmann (1991) vier Grundfunktionen. Dies sind...

- die Aktivierungsfunktion, wobei das Bild die Aufgabe hat, eine bereits vorhandene mentale Repräsentation abzurufen.
- die Konstruktionsfunktion, wobei Bilder dazu dienen, bereits vorhandene mentale Repräsentationen abzurufen und sie in einer Wissensstruktur wie einem mentalen Modell oder einem Skript zusammenzufügen.

- die Fokusfunktion, wobei es hier die Zielsetzung ist, eine bereits bestehende Wissensrepräsentation zu differenzieren oder zu korrigieren.
- die Ersatzfunktion, wobei hier das Bild dazu dient, die gesamte Information darzustellen, weil kein Vorwissen beim Lernenden vorausgesetzt werden kann.

Speziell zu Abbildern in Multimediaangeboten ist unter anderem noch die Situierungsfunktion zu nennen. Das heißt, Abbilder stellen einen kognitiven Rahmen bereit. Dabei ist es aber nicht unbedingt das realistischste Bild, welches diese Funktion am besten erfüllt (Weidenmann, 2002 a).

Speziell im Kontext naturwissenschaftlichen Unterrichts sehen Girwidz & Rubitzko (2002) die Funktion von Bildern unter anderem

- als Möglichkeit, Sachverhalte zu visualisieren, die der Wahrnehmung entzogen sind (siehe Abb. 19)
- als Möglichkeit an Phänomene im Alltag anzuknüpfen (siehe Abb. 16)
- als Instrument zur ökonomischen Verarbeitung von Daten (siehe Abb. 20)
- zum Aufbau einer Brücke zwischen Phänomen und Naturwissenschaft (siehe Abb. 26)

Dabei liegt insbesondere in der Möglichkeit, räumliche Zusammenhänge deutlich zu machen, lernpsychologisch eine große Bedeutung von Bildern (Weidenmann, 1991). Aber auch in der Funktion zum Aufbau mentaler Modelle sieht Weidenmann (1993) ihre Aufgabe.

Verschiedene Formen von Bildern aus der Lernumgebung werden nun bezüglich ihrer Funktion analysiert.



Abb. 15: Abbildung einer Thermoskanne

Abbildung 15 zeigt, dass Abbildungen nicht notwendigerweise nur Fotografien sein können, sondern durchaus auch Kombinationen von Fotografien und Zeichnungen. In diesem Fall ist mit grafischen Mitteln der Hohlraum in der Thermoskanne „aufgeschnitten“ worden, um ungewöhnliche Einblicke zu gewähren. Vor allem die räumlichen Verhältnisse, die sprachlich nur schwer zu beschreiben sind, sollen dabei deutlich werden.



Abb. 16: „Ulle“ schwitzt für das Lernen mit Bildern

Die Abbildung von Jan Ullrich (Abb. 16, mit freundlicher Genehmigung von Jürgen Burkhardt) erfüllt in der Lernumgebung nicht zuletzt die Motivierungsfunkti-

on. Das Bild ist ein Blickfang, weil der Radfahrer vermutlich ein Sympathieträger in der Zielgruppe ist. Zudem erfüllt das Bild die Situierungsfunktion. An dieses Bild schließen sich Abschätzungen an, welche Energiemengen während einer Bergetappe im Radsport von den Fahrern umgesetzt werden.



Abb. 17: Styropor dient zur Isolation

Die Abbildung des Pizzakartons dient zur Anbindung an Alltagserfahrungen (Abb. 17). Dabei ist die Aktivierungsfunktion zu nennen, bei der bereits vorhandene Erfahrungen zum Thema Isolation abrufbar gemacht werden sollen.

Aber auch logische Bilder finden in der Lernumgebung ihre Verwendung. Diagramme dienen der Veranschaulichung unsichtbarer quantitativer Zusammenhänge. Sie ermöglichen es, Informationen zu verdichten, die sprachlich nur sehr unübersichtlich darzustellen sind. Oder sie dienen der Datenexploration - insbesondere durch Darstellungen, die unerwartete Einsichten ermöglichen (Ballstaedt, 1997). So wurden in der Lernumgebung bei einem Diagramm Wärmeleitwerte in besonderer Form aufgetragen. Aus dem Diagramm können sofort die benötigten Schichtdicken entnommen werden, die benötigt werden, um eine bestimmte Isolationswirkung zu erreichen (Abb. 20).

Charts hingegen können bei der Orientierung und beim Explorieren in komplexen Wissensgebieten helfen. Dabei ist auf klare Gruppierung und die Leserichtung zu achten. Überdies sind sie für die Steuerung und Navigation, aber auch zur Fokus-

sierung auf bestimmte Informationseinheiten, geeignet (Ballstaedt, 1997). Ein Beispiel aus der Lernumgebung, das diese Funktion erfüllt, ist das aus Abbildung 18.

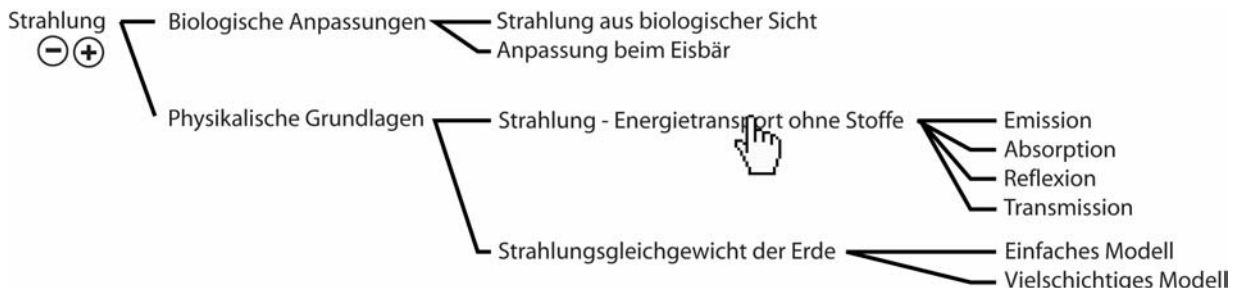


Abb. 18: Ausschnitt der Übersichtskarte zur Navigation und Strukturierung

8.2.3 Verarbeitungsspezifische Anforderungen und Gestaltungskriterien

Beim Bildverstehen lassen sich präattentive Prozesse, die ohne Einfluss des Bewusstseins ablaufen, von attentiven Prozessen unterscheiden, die vom Bewusstsein gesteuert werden (Weidenmann, 1993).

Um speziell die unbewusste Wahrnehmung zu unterstützen, sollten beispielsweise der Vorder- und Hintergrund klar getrennt sein, aber auch Sinneinheiten zusammenhängend in räumlicher Nähe dargeboten werden (Winn, 1993). Dabei können bei diesem parallelen Prozess der Bildwahrnehmung besonders bei künstlich erstellten Bildern Probleme auftreten, weil beispielsweise gerade Dinge gruppiert sind, die eigentlich nicht zusammengehören (Ballstaedt, 1997).

Der anschließende attentive Verarbeitungsprozess ist sequentiell (Ballstaedt, 1997). Deshalb spielt natürlich die Reihenfolge, in der die Bildinformation aufgenommen wird, eine große Rolle. Nach der Auffassung Winns (1993) ist beispielsweise darauf zu achten, dass die Reihenfolge der dargebotenen Informationseinheiten die Aufmerksamkeit steuert. Inhalte sollten deshalb so angeordnet sein, dass gewohnte Bildeinteilungen wie rechts und links berücksichtigt werden.

Neben dieser Einhaltung der Leserichtung erachtet Weidenmann (1993 sowie 1994) auch Darstellungscodes als wichtig, die dazu dienen, den Inhalt möglichst

klar und eindeutig zu transportieren. Hilfreich können hier die natürliche Farbgebung oder auch nur deutliche Konturen sein. Weil aber Lernende aus der Darstellung weniger Charakteristika ihre bereits vorhandenen Vorstellungen von Gegenständen aktivieren, kann auch eine zu detaillierte Darstellung von Gegenständen dieses Aktivieren sogar verhindern (Winn, 1993).

Hierzu ein Beispiel, wie der Einsatz von Leserichtung und Darstellungscodes in der Lernumgebung umgesetzt wurde.

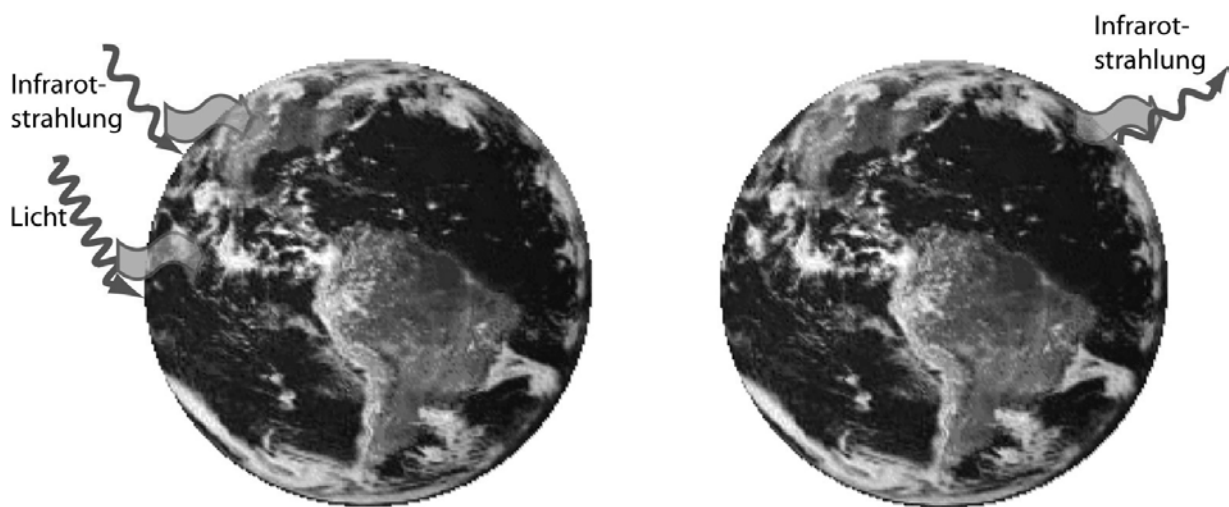


Abb. 19: Prozesse von Absorption und Emission als erläuterndes Bild zum Text

Im Bild zu Absorption und Emission von Strahlung (Abb. 19) wurde die Leserichtung von einfallender Strahlung und emittierter Strahlung in üblicher Weise festgelegt: „Kommt von links und geht nach rechts.“ Die verschiedenen Wellenlängen der von der Sonne einfallenden Strahlung sind mit Pfeilen unterschiedlicher Wellenlänge in der gesamten Lernumgebung dargestellt. Dies gilt ebenso für den grünen Pfeil, der den Transport von Energie darstellt. Der Hintergrund des Bildes wurde weggelassen, um die wesentlichen Prozesse, nämlich Absorption und Emission, herauszuheben. Auf die Reflexion des Lichts an der Erdoberfläche wurde in diesem Bereich verzichtet, dieser Aspekt wird auf einer späteren Seite erläutert, um das Bild nicht zu überladen. Die Darstellung der Erde wurde so gewählt, dass sie

auch ohne Text erkannt werden kann. Die Pfeile sind beschriftet, um Missverständnisse bezüglich der Ein- bzw. Abstrahlung auszuschließen.

Neben Darstellungscodes betrachtet Weidenmann (1993, 1994) SteuerCodes als weitere Gestaltungselemente. SteuerCodes sollen die Rezeption lenken, sodass komplexe Inhalte nutzbringend wahrgenommen und verarbeitet werden können. Dies kann beispielsweise durch implizite Steuerung wie optische Hervorhebung, Kontrastierung, Vergrößerung oder aber auch durch spezielle Hinweiszeichen, also explizit durch Pfeile oder Symbolfarben, geschehen. Dabei ist darauf zu achten, dass nicht zu viele Mittel der Steuerung gleichzeitig verwendet oder zu viele Details herausgehoben werden, weil sich sonst die Effekte aufheben (Ballstaedt 1997).

Für die Gestaltung insbesondere von logischen Bildern schlägt Schnotz (1993) Folgendes vor:

- Implizite Ordnungen - so sollten beispielsweise die Balken von Balkendiagrammen nach der Größe geordnet werden.
- Sparsamkeit - dadurch, dass Dinge weggelassen werden, die nicht der direkten Informationsvermittlung dienen, wird die Lesbarkeit der bildhaften Darstellung erhöht.
- Syntaktische Klarheit in der Darstellung - dies wird vor allem dadurch erreicht, dass man sich auf wenige unterscheidbare Merkmale beschränkt.
- Semantische Klarheit in der Darstellung - so sind beispielsweise Farben in der Regel eher geeignet, qualitative Unterscheide zu verdeutlichen

Allerdings nennt Schnotz (1993) eine Ausnahme zum letzten Punkt. So können mit den Farben Rot und Blau sowie verschiedenen Sättigungen Temperaturen auch quantitativ dargestellt werden.

Die Erläuterung der Gestaltungsrichtlinien bei logischen Bildern soll anhand des Diagramms zur Isolationswirkung (Abb. 20) erfolgen.

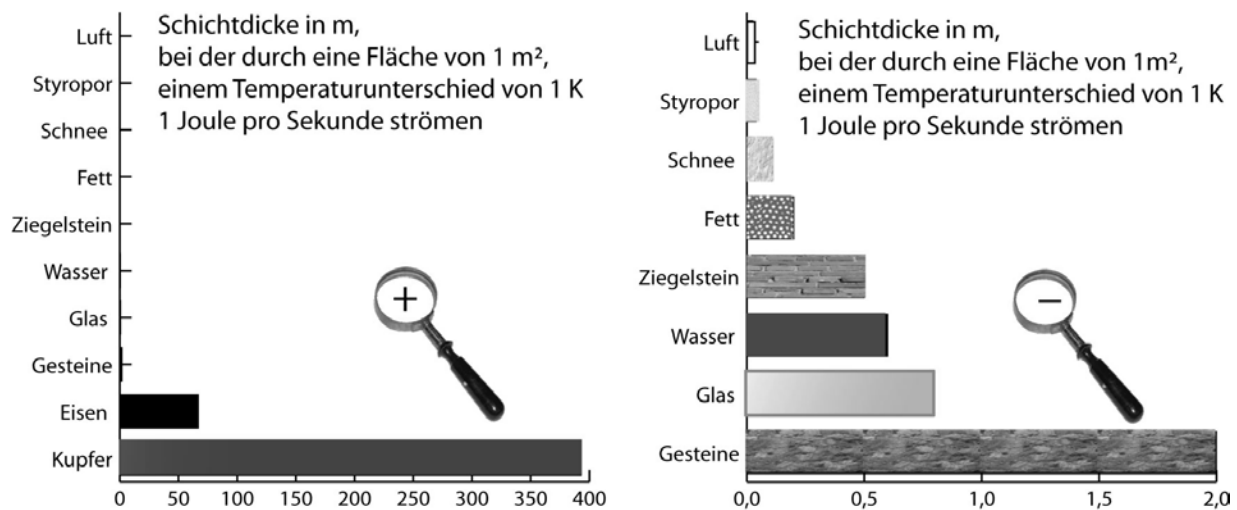


Abb. 20: Diagramme zu unterschiedlichen Isolationswirkungen von Materialien

In diesem Diagramm ist die Isolationswirkung verschiedener Materialien so aufgetragen, dass die Schichtdicke in Metern angegeben ist, die benötigt wird, um einen Wärmestrom durch eine Fläche von 1 Quadratmeter von einem Joule pro Sekunde bei einem Temperaturunterschied von einem Kelvin zu gewährleisten. Dabei sind durch die Färbung und Strukturierung der Balken die jeweiligen Materialien so dargestellt, wie sie in der gesamten Lernumgebung gekennzeichnet worden sind, die Isolationswirkung nach Stärke sortiert und die Materialien zusätzlich beschriftet. Außerdem ergänzt ein erläuternder Text die Interpretation der dargestellten Werte in eindeutiger Form. Als einziges Element ist die Lupe aufgetragen, die es ermöglicht, den Bereich zu wechseln und so auch die Werte von zwei Metallen zu verwenden. Dies kann nur durch zwei Diagramme geleistet werden, die den deutlichen Unterschied berücksichtigen.

Neben der Wahrnehmung sind nach Auffassung Weidenmanns (1991) zwei weitere Dinge vom Lernenden zu leisten, um Bilder zu verarbeiten. Sie müssen - wie bereits erwähnt - ihre Bedeutung erkennen und die darin enthaltene Information auch für den Lernprozess nutzen. Um das Erkennen der Bedeutung zu unterstützen, helfen unter anderem Fragen zum Bild oder ein erläuternder Text (Weidenmann, 1991). Solche Texte sind ein weiterer Bestandteil der Lernumgebungen.

8.3 Texte

8.3.1 Funktionen von Texten

Für Inhalte, bei denen das Verstehen maßgeblich von der Reihenfolge der angegebenen Information abhängt, und für komplexe Inhalte bietet sich der Einsatz von geschriebener Sprache an (Winn, 1993). Eine besondere Form sind expositorische Texte. Sie beschreiben Sachverhalte und erklären Zusammenhänge. Ihre Aufgabe besteht darin, konzeptuelles Wissen zu vermitteln (Ballstaedt, 1997). In der Lernumgebung finden sich vorwiegend solche expositorischen Texte.

8.3.2 Gestaltungskriterien zu Texten

Winn (1993) fordert, Texte nach folgenden Kriterien zu gestalten:

- Die Aufmerksamkeit durch Verändern einer Eigenschaft im Textbild zu steuern
- Texte durch geeignete Absätze zu strukturieren
- Auf hinreichend farblichen Kontrast zu achten

Aber auch der Text selbst sollte sprachlich in einer Weise organisiert sein, um Wissen in angemessener Weise zu vermitteln. So fordert Ballstaedt (1997) unter anderem

- formulieren prägnanter Überschriften
- setzen von Orientierungsmarken wie Marginalien oder Spiegelstrichen
- zusammenfassen wichtiger Inhalte
- anknüpfen an das Vorwissen beispielsweise durch ein advance organizer
- vermeiden ungeläufiger Wörter
- vermeiden unübersichtlicher Sätze
- herstellen eindeutiger Bezüge im Satz

Neben diesen für alle Texte geltenden Richtlinien ist speziell für Texte, die auf dem Computer präsentiert werden, nach Ballstaedt (1997) Folgendes zu beachten:

- eine serifenfreie Schrift mit mindestens 12 pt Größe
- eine Zeilenlänge von 60 bis 80 Buchstaben
- ein anderthalbfacher bis doppelter Zeilenabstand
- möglichst kein Scrollen.

Absorption

Trifft elektromagnetische Strahlung auf einen Körper auf, so kann dieser die darin enthaltene Energie aufnehmen. Man sagt, die Strahlung wird absorbiert.

Dies gilt sowohl für Infrarotstrahlung wie auch für Licht. Dabei erhöht sich die innere Energie des Körpers.

Es muss aber nicht die gesamte aufgetroffene elektromagnetische Strahlung absorbiert werden. Anteile können auch durch den Körper dringen oder unverändert zurückgestrahlt werden.

Abb. 21: Text zur Absorption

Ein Beispiel eines expositorischen Textes aus der Lernumgebung, bei dem einige Gestaltungskriterien umgesetzt sind, ist der erläuternde Text zur Absorption. Eine

Überschrift gibt den Inhalt eindeutig wieder. Klare Absätze trennen die einzelnen Bereiche. Die Sätze sind übersichtlich, die Begriffe werden in der Reihenfolge eingeführt. Die Schriftgröße ist 12 pt serifenfreies Arial, die Laufweite beträgt etwa 50 Zeichen pro Zeile, kein zusätzliches Scrollen ist nötig. Ein weiteres Beispiel zu Texten ist der Text von Abbildung 22. Dort werden Spiegelstriche und unterschiedliche Schrifttypen zur Gliederung verwendet. So wird beispielsweise die Formel größer abgebildet, wodurch ein schnelleres Finden derselben ermöglicht wird. Der Inhalt, der auf den Seiten zuvor erarbeitet wurde, wird im Sinne eines advance organizer dem neuen Lerninhalt vorangestellt. Erst nachdem die bereits für den Wärmestrom bekannten Größen genannt sind, wird die Berechnung des Wärmestroms erklärt.

Aber auch für gesprochene Texte gibt es klare Richtlinien. So gilt es, eine mittlere Sprechgeschwindigkeit zu verwenden, auf angemessene Betonung zu achten, den Text durch Pausen zu gliedern und besonders kurze prägnante Formulierungen zu verwenden (Ballstaedt, 1997). Beispiele hierzu sind die Sprechtexte in den später angesprochenen Animationen.

8.4 Text- Bild-Kombinationen

Diese Darstellungsform ist im engeren Sinn bereits eine multiple Repräsentation, denn sie weist die Verwendung zweier Codesysteme auf. Dennoch soll sie hier als eigenständige Darstellungsform behandelt werden, weil viele der angesprochenen Gestaltungskriterien auch für Animationen oder interaktive Repräsentationen gelten. Bei der späteren Verwendung von multiplen Repräsentationen soll dann vor allem von solchen Repräsentationen die Rede sein, die aus mehreren Darstellungen zusammengesetzt sind die den gleichen Inhalt haben.

8.4.1 Funktionen von Text-Bild-Kombinationen

Levin, Anglin & Carney (1987) identifizieren fünf Funktionen für Bilder in Kombination zum Text.

- Die Dekorationsfunktion, wobei die Bilder den Text illustrieren ohne relevant zu sein.
- Die Repräsentationsfunktion, wobei die Bilder Inhalte des Textes und zusätzliche Information depiktional wiedergeben.
- Die Organisationsfunktion, wobei Bilder den Kontext bilden oder auch räumliche Zusammenhänge beschreiben.
- Die Interpretationsfunktion, wobei die Bilder schwer verständliche Textpassagen klären.
- Die Transformationsfunktion, wobei die Bilder die Möglichkeit bieten, sich des Textes besser erinnern zu können - wie beispielsweise bei einer Eselsbrücke.

In ihrer Metaanalyse fanden Levin, Anglin & Carney (1987) heraus, dass die Dekorationsfunktion unwirksam für den Lernerfolg war, wenn es die einzige Aufgabe des Bildes war. Im Bereich der Repräsentationsfunktion, Organisationsfunktion und Interpretationsfunktion lohnte sich hingegen der Einsatz von Bildern. Am besten schnitten bei Vergleichen Texte ab, die mit Bildern in der Transformationsfunktion ausgestattet sind. Diesbezüglich muss allerdings auf die eingeschränkten Einsatzmöglichkeiten hingewiesen werden. Zusammenfassend gesagt, lassen Bilder dort einen größeren Lernerfolg erwarten, wo sie relevant für den zu Erinnernden Inhalt sind. Wohingegen für das Verständnis des Inhalts irrelevante Bilder verwendet wurden, waren keine positiven Effekte feststellbar (Levin, Anglin, & Carney, 1987).

Es ist aber nicht nur wichtig, die richtige Text-Bild-Kombination für die richtige Funktion zu finden. Leistungen in Tests hängen auch von der Abrufcodalität ab. So fanden Brünken, Steinbacher, Schnotz & Leutner (2001) heraus, dass nicht nur der richtige Einsatz von Text und Bild das Ergebnis bei einer Studie bestimmt, sondern dieses zudem davon abhängt, in welcher Codierung hinterher die Aufgaben gestellt wurden. Ähnlich sind auch die Ergebnisse von Brünken & Leutner (2001). Diese legten Schülern eine visuelle Variante (geschriebener Text und Bild) sowie eine

audiovisuelle Variante (gesprochener Text und Bild) zur Funktion des Herzkreislaufsystems vor. Dabei zeigte sich, dass die rein visuelle Präsentation zu schlechteren Lernergebnissen bezüglich der sprachgebundenen dargebotenen Information führte. Die Lernergebnisse bezüglich der bildhaft angebotenen Information waren aber bei beiden Repräsentationsformen gleich.

8.4.2 Gestaltungskriterien

Leahy, Chandler & Sweller (2003) fanden in zwei Experimenten heraus, dass Kombinationen von gesprochenem Text und Schaubildern von Temperaturverläufen nur dann hilfreich waren, wenn weder der Text noch die Bilder allein verständlich waren. Dort, wo der Text zusätzlich zur im Schaubild dargestellten Information dargeboten wurde, ohne essentiell zu sein, wurde das Lernen eher gestört. Dieser Redundanzeffekt trat im Übrigen stärker auf, wenn es sich um besonders komplexe Informationseinheiten handelte. Neben der Vermeidung von Redundanz zur Entlastung des Arbeitsgedächtnisses lassen sich aber noch andere Kriterien zur Gestaltung von Text-Bild-Kombinationen nennen. Einige Implikationen aus der cognitive load theory spielen an dieser Stelle eine wesentliche Rolle. Aber auch die Resultate Mayers (2001), die sich damit teilweise decken, gehören in diesen Zusammenhang. So bieten folgende Designprinzipien (Mayer & Moreno, 2003 sowie Mayer, 2001) eine Orientierung im Umgang mit Kombinationen aus Text und Bild:

- Prinzip der räumlichen Nähe: Korrespondierende Text- und Bilddarstellungen sollten in enger räumlicher Nähe angeordnet sein.
- Vorkenntnisse und Fähigkeiten berücksichtigen: Das Angebot muss auf das Vorwissen, die Leistungsfähigkeit und die Aufnahmekapazität der Lernenden zugeschnitten sein.
- Kohärenzprinzip: Nicht sachbezogene Informationen sollten möglichst ausgeblendet und überdies unbekannte Worte und Bilder vermieden werden.

Dabei stellt Mayer (2003) klar, dass einige der genannten Gestaltungsprinzipien beispielsweise das Kohärenzprinzip und das Prinzip der räumlichen Nähe sowohl für Bild- und Textkombinationen in Büchern wie auch für Computeranimationen mit gesprochenem Text in Studien nachgewiesen werden konnten.

Gerade das Prinzip der räumlichen Nähe und auch das später noch bei Animationen erwähnte Prinzip der zeitlichen Nähe (ebenfalls Mayer, 2001) lassen sich dem split attention effect der cognitive load theory zuordnen. Hier sind vor allem die bei Chandler & Sweller (1991) beschriebenen Experimente zu nennen sowie der Überblick von Sweller, van Merriënboër & Paas (1998). Dabei wird davon ausgegangen, dass das Arbeitsgedächtnis mit dem Verbinden von zusammen gehörender, aber nicht in sofort erkennbarem Zusammenhang angebotener Information, unnötig und nicht lernwirksam belastet wird. Zur Vermeidung dieses Effekts können neben räumlicher Nähe auch Markierungen in derselben Farbe von Text- und Bildteilen helfen.

Welche Funktionen Text-Bildkombinationen in der Lernumgebung haben und wie sie gestaltet wurden, zeigt folgendes Beispiel (Abb. 22).

Berechnung des Wärmestroms

Der Wärmestrom, der durch eine Fläche dringt, hängt ab von:

- Temperaturdifferenz ΔT
- Fläche A
- Schichtdicke d
- Wärmeleitfähigkeit λ des Materials

Der Wärmestrom j lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$j = \frac{\lambda \cdot A \cdot \Delta T}{d}$$

Die Einheit des Wärmestroms j ist Joule pro Sekunde (J/s).

Die Wärmeleitfähigkeit λ des Materials wird in Joule pro Meter pro Sekunde pro Kelvin angegeben: $\frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s}}$

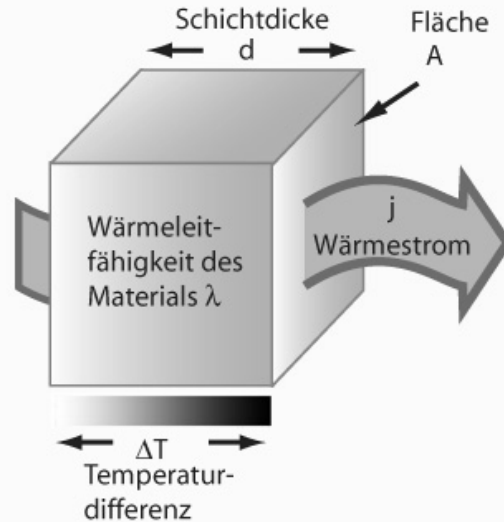


Abb. 22: Text-Bild-Kombination zur Berechnung des Wärmestroms

In der Text-Bild-Kombination zur Berechnung des Wärmestroms erfüllt das Bild drei Funktionen. Erstens hat es Interpretationsfunktion und soll den fachlich anspruchsvollen Text, der auch Gleichungen enthält, verständlicher gestalten. So ist der expositorische Text für Lernende der Zielgruppe ohne das Bild nur schwer zu verstehen. Zweitens hat es Repräsentationsfunktion, wobei der im Text beschriebene Wärmestrom im Bild als grüner Pfeil dargestellt ist. Drittens hat es eine Organisationsfunktion, weil die räumlichen Gegebenheiten des physikalischen Modells Wärmestrom im Bild sichtbar gemacht werden. Dabei orientiert sich der Text selbst als auch das Bild an vielen der genannten Gestaltungskriterien. Im Bild sind beispielsweise die bereits bekannten Darstellungscodes verwendet. In der Kombination ist insbesondere darauf Wert gelegt, dass keine zusätzliche Information stört (Kohärenzprinzip). Die Bildteile sind an Ort und Stelle beschriftet oder die Beschriftung ist mit Pfeilen klar zugeordnet (Prinzip der räumlichen Nähe). Die Zu-

ordnung der Bildteile zum expositorischen Text wurde ohne Farbe durchgeführt, weil dies mit den vielen bereits eingeführten Farben sehr unübersichtlich geworden wäre. Alternativ hierzu sind die Variablen am Bild und im Text sehr schnell zueinander zuzuordnen. Dies erkennt man, wenn man die Bild-Text-Kombination nur kurz überfliegt. Auch so kann vermutlich der split attention effect vermieden werden.

8.5 Bildhafte dynamische Darstellungen

Mit der Veränderlichkeit in der Zeit kommt eine weitere Qualität zu bildhaften Darstellungsformen hinzu. Dabei ist unter dynamischen Bildschirmdarstellungen jede Form von bewegten bildhaften Darstellung zu verstehen, also neben Animationen, Filmen auch Simulationen (Park & Hopkins, 1993). Simulationen werden aber mit anderen interaktiven Darstellungsformen in einem späteren Abschnitt behandelt, obwohl viele der hier getroffenen Aussagen auch für sie gelten.

8.5.1 Formen bildhafter dynamischer Darstellungen

Schnotz, Seufert & Bannert (2000, S. 462) verstehen unter Animationen „Bilder, deren grafische Struktur sich während der Darbietung verändert“, wobei es keinen Unterschied macht, ob diese von den Lernenden wie bei einer Simulation beeinflusst werden können.

Für didaktisch-methodische Überlegungen ist die Eigenschaft der dynamischen Darstellung entscheidend. Diese haben Filme, Animationen und Trickfilmen miteinander gemeinsam. Dabei unterscheiden Ainsworth & van Labeke (2004) drei Typen von Repräsentationen, die sich mit der Zeit verändern:

- Zeit-persistente Darstellungen, die eine ganze Reihe von Zuständen im Verlauf einnehmen und die Zeitabhängigkeit einer oder mehrer Variablen aufzeigen.
- Zeit-implizite Darstellungen, die nicht den speziellen Zeitpunkt markieren, an dem ein bestimmter Zustand erscheint.

- Zeit-singuläre Darstellungen, die ausschließlich einen bestimmten Zeitpunkt zeigen.

8.5.2 Einige empirische Befunde

Gerade zu Animationen findet sich wieder eine Reihe von Vergleichsuntersuchungen mit physikalischen Inhalten. Sie kommen bezüglich des Lernerfolgs zu keinen einheitlichen Ergebnissen. So konnte beispielsweise Dahlqvist (2000) in einer empirischen Studie zur Newton'schen Mechanik mit 55 Physikstudierenden keine wesentlichen Unterschiede beim Lernergebnis zwischen der Aufbereitung in statischer und animierter Darstellung des Inhalts feststellen.

Zu einem etwas anderen Ergebnis kam beispielsweise Lewalter (2003). Sie verglich in einer Studie drei Varianten eines Erklärtextes zum Themenbereich Astrophysik. Einer der Texte enthielt eine statische bildhafte Darstellung, einer enthielt eine Animation, während der dritte ohne Illustration angeboten wurde. Dabei waren die beiden illustrierten Varianten lernförderlicher als die reine Textvariante, unterschieden sich aber untereinander bezüglich des Lernerfolgs nicht.

Einen Überblick über Lerneffekte geben Park & Hopkins (1993). Sie stellen fest, dass kein prinzipieller Vorteil von dynamischen Darstellungen durch die einzelnen Untersuchungen zu belegen ist, obwohl sich Animationen in Untersuchungen gemeinhin effektiver als statische Darstellungen zeigten. Dies führen Park & Hopkins (1993) jedoch unter anderem auf die unterschiedlichen konzeptuellen Ansätze der Untersuchungen zurück. Folgerichtig kritisieren auch Scaife & Rogers (1996), dass technische Entwicklungen wie Dynamik in der Darstellung oder Interaktion per se mit besseren kognitiven Leistungen der Rezipienten gleichgesetzt werden. Dabei ist auch ihrer Ansicht nach stets zu klären, welche Vorteile bezüglich der kognitiven Verarbeitung die einzelnen Stufen haben. Überdies ist wieder die angestrebte Funktion, welche die Darstellung erfüllen soll, im Auge zu behalten.

8.5.3 Funktionen von bildhaften dynamischen Darstellungsformen

Schnotz, Seufert & Bannert (2000) sowie Schnotz (2002) nennen eine Reihe von Funktionen der bildhaft dynamischen Darstellungen, die sich auch teilweise schon mit den Funktionen von Bildern decken. Diese sind die

- Dekorationsfunktion
- Motivationsfunktion
- Funktion der Aufmerksamkeitssteuerung
- Funktion der Darstellung von Inhalten
- Die Funktion der Befähigung, wodurch der Lernende in die Lage versetzt wird, eine größere Menge an kognitiven Prozessen zu leisten als mit statischen Bildern.
- die Funktion der Erleichterung, wodurch der Lernende durch eine externe Unterstützung leichter mentale Prozesse ausführen kann. Dies kann beispielsweise das direkte Beobachten einer Bewegung sein.

Auch Bétrancourt & Tversky (2000) betonen, dass Animationen bei Inhalten, die Bewegung, Bewegungsabläufe oder eine zeitabhängige Veränderung beinhalten, geeignet sind, um den Aufbau mentaler Modelle zu unterstützen.

Rieber (1996) hingegen benutzt Animationen als Möglichkeit zum Feedback bei Einstellungen einer Simulation. Dabei hatten die Lernenden die Kontrolle über die Beschleunigung eines Körpers und erhielten als Rückmeldung Geschwindigkeit Richtung und Ort des Körpers in Form einer Animation oder in textgebundener Form sowie in Kombination beider Darstellungsformen. Dabei konnten die Lernenden mit der Animation am ehesten implizites Wissen über die Vorgänge erreichen. Wenn es allerdings darum ging, die Zusammenhänge explizit zu machen, waren alle drei Formen des Feedbacks identisch. So stellt sich erneut die Frage nach

den Bedingungen und Zielsetzungen, unter welchen Lernen mit bildhaft dynamischen Darstellungen effektiv ist.

Park & Hopkins (1993, S. 427, übersetzt vom Autor) identifizieren sechs solcher Bedingungen, unter denen mit einem effektiven Einsatz von dynamischen Repräsentationen zu rechnen ist: “

- 1) Demonstrieren von nacheinander abfolgenden Handlungen eines Verfahrens
- 2) Simulieren kausaler Modelle bei komplexem Verhalten eines Systems
- 3) Explizite Darstellung von unsichtbaren Abläufen und Verhalten eines Systems
- 4) Darstellung eines Vorgangs, der sprachlich schwer zu beschreiben ist
- 5) Bereitstellen einer visuellen Analogie für ein abstraktes und symbolisches Konzept
- 6) Aufmerksamkeitsfokussierung auf bestimmte Vorgänge oder Bildschirmdarstellungen“

An dieser Stelle soll nun gezeigt werden, welche Funktionen bildhaft dynamische Darstellungen in der Lernumgebung haben.



Abb. 23: Filmausschnitt, der einen hechelnden Eisbär zeigt

Ein erstes Beispiel sind Tierfilme. Abbildung 23 zeigt ein Standbild aus einem Film der Lernumgebung (konzipiert und gestaltet von Steffen Schaal). Neben der Darstellung des Inhalts - wie hechelt ein Eisbär - ist bei diesem Film vor allem die Motivationsfunktion zu nennen. Gerade mit Tierfilmen lässt sich dieses Ziel für die ausgewählte Lerngruppe vermutlich gut erreichen.

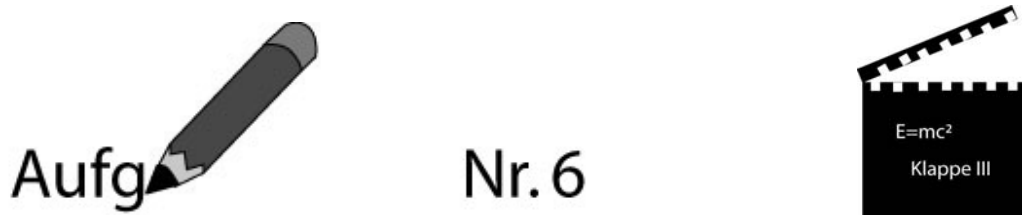


Abb. 24: Kleine Animationen, die Aufmerksamkeit wecken (stark vergrößert!)

Eine andere Funktion erfüllen die animierten Icons aus Abbildung 24. Sie lenken die Aufmerksamkeit auf bestimmte Interaktionsmöglichkeiten. So sind in Abbildung 24 von links zu sehen wo Aufgaben zu dieser Seite zu finden sind, und wo ein Film oder eine Animation aufgerufen werden kann. Insbesondere die Bewegung fokussiert die Aufmerksamkeit auf den jeweiligen Bereich. Allerdings ist das kleine animierte Bild auch unauffällig genug, um die Verarbeitung der anderen Information auf dieser Seite nicht zu stören. Solche kleinen Animationen helfen, sich auf Seiten mit viel Information zurecht zu finden und entlasten so das Arbeitsgedächtnis, das sonst mit Suchprozessen zusätzlich belastet wäre.

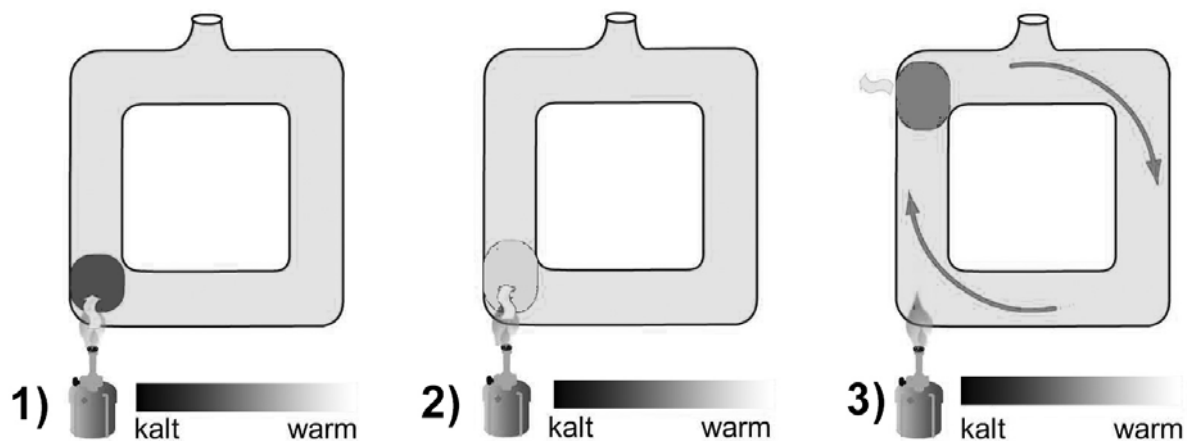


Abb. 25: Drei Phasen aus einer Animation zur Konvektion in einem Rohr

Vor allem die explizite Darstellung eines an sich unsichtbaren Ablaufs erfüllt die Animation aus Abbildung 25. Dieser wäre sprachlich schwer zu beschreiben. Dort wird das Prinzip der freien Konvektion am Beispiel eines Rohrs erklärt, das an einer Stelle erhitzt wird:

- 1) Der Wassermenge wird Energie zugeführt.
- 2) Die Wassermenge erwärmt sich, dehnt sich aus und verringert ihre Dichte.
- 3) Die Wassermenge steigt auf, gibt Energie über die Rohrwand ab, wird kälter und verringert ihr Volumen.

8.5.4 Verarbeitungsspezifische Anforderungen und Gestaltungskriterien

Lowe (1998) nennt zusätzliche Anforderungen an das Verarbeiten animierter Bilder im Vergleich zu statischen. Diese sind:

- 1) die größere Informationsmenge
- 2) die begrenzte Zeit pro Einzelbild
- 3) die Notwendigkeit der Aufmerksamkeitsverteilung

- 4) die Notwendigkeit, Information im Gedächtnis zu halten und sie mit später angebotener Information zu verknüpfen

Um diesen Problemen zu begegnen betonen Bétrancourt & Tversky (2000), dass die Informationen über zeitabhängige Veränderungen in einfache Veränderungen auf dem Bildschirm umgesetzt werden sollten. Aber auch Farbmarkierungen, Pfeile oder das Einblenden von Begriffen können ähnlich wie SteuerCodes bei Bildern helfen, die wichtige Information zu kennzeichnen. So erreichten Studierende des Faches Biologie bessere Lernergebnisse, wenn Animationen, die mit einem gesprochenen Erklärtext begleitet waren, solche Signale enthielten (Huk, Steinke & Floto, 2003 a).

Lowe (2003) sieht neben der Möglichkeit, dynamische Information explizit darzustellen, auch die besonderen zusätzlichen Anforderungen beim Lernen mit Animationen. Insbesondere die Auswahl der Information und der Verarbeitungsprozess sind mitunter schwierig. In einer empirischen Studie, bei der Wetterkarten animiert und statisch angeboten wurden, konnten Vorteile von Animationen bezüglich des Lernerfolgs festgestellt werden. Allerdings zeigte sich auch, dass die Informationsentnahme weniger durch die inhaltliche Relevanz als vielmehr durch die grafische Exponiertheit in der Darstellung bestimmt war. Bereiche, die relevant sind, können also kenntlich gemacht werden, wenn sie sich deutlich stärker verändern als die umgebenden Bereiche.

Auch beim Lernen mit Animationen legen Mayer & Moreno (2002) die gleiche Idee des Lernens mit Multimedia zugrunde, die sie auch für das Lernen mit Bild und Text entwickelt haben. Demzufolge belegen sie empirisch, dass sich der Lernerfolg bei Animationen eher einstellt, wenn Gestaltungsrichtlinien wie zum Lernen mit Bild-Text-Kombinationen verwendet werden. Dies sind neben den bereits genannten:

- Das Modalitätsprinzip: Es ist vorteilhaft, verschiedene Aufnahmekanäle zu nutzen und zu Animationen gesprochenen Text zu verwenden und keinen Bildschirmtext.
- Das Prinzip der zeitlichen Nähe: Bilder und die zugehörigen verbalen Erklärungen sollten möglichst simultan, unter Umständen auch akustisch unterstützt angeboten werden.
- Das Redundanzprinzip: Das Lernen mit bewegten Bildern, die mit gesprochenem Text kommentiert sind, wird durch die zusätzliche schriftbasierte Darstellung desselben Textes erschwert.

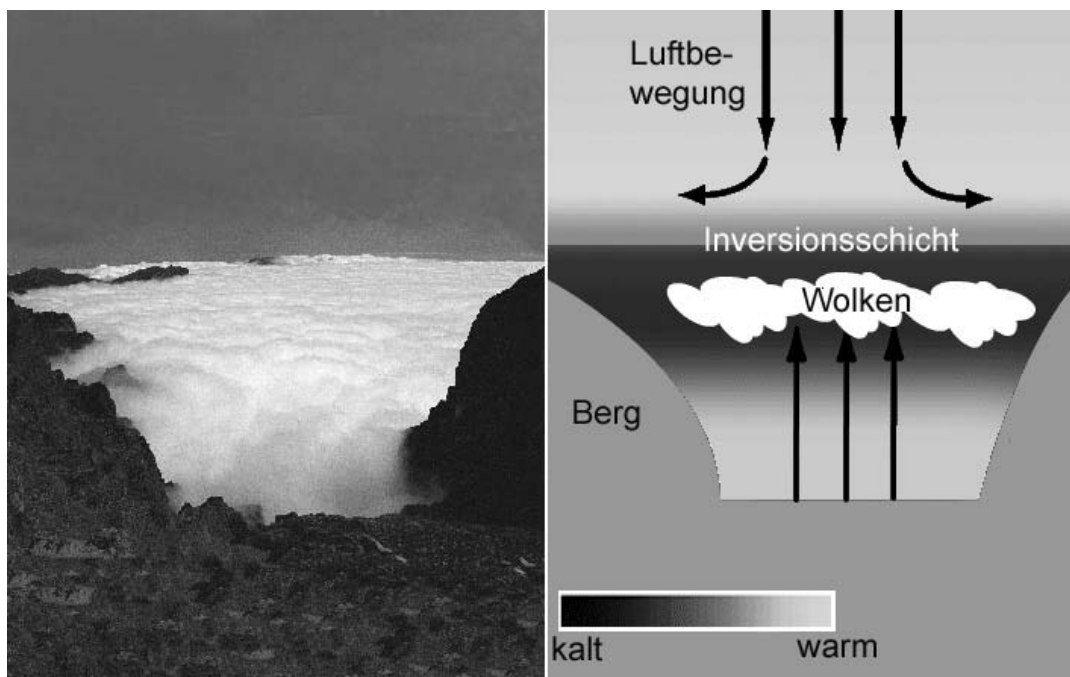


Abb. 26: Animation zur Entstehung einer Inversion

Ein Beispiel aus der Lernumgebung, wo die Gestaltungskriterien gut erkennbar umgesetzt werden konnten, ist die Animation zur Entstehung einer Inversionswetterlage (Abb. 26). Der erläuternde Text wird in gesprochener Form angeboten. Dies entspricht dem Modalitätsprinzip. Damit sollen, wie bereits oben erläutert, Ressourcen aus beiden sensorspezifischen Speichern des Arbeitsgedächtnisses genutzt

werden können. Überdies verändern sich Bildelemente stets in dem Moment, wenn sie im Text angesprochen werden (Prinzip der zeitlichen Nähe). Der Text in der Animation ist auf das Wesentliche reduziert, und kein gesprochener Text erscheint in der Animation (Redundanzprinzip). Als einer der wenigen Textelemente erscheint der Begriff Inversionsschicht an der Stelle, Ausrichtung und Größe, wo diese in dem Realbild auch zu finden ist. Ein weiterer Aspekt, der hier angesprochen wird, ist die Darstellung der Temperatur. Diese wurde in der gesamten Lernumgebung durchgängig mit einem entsprechenden Farbcode dargestellt. Dieses Verfahren der Temperaturdarstellung erwähnt - wie bereits angesprochen - Schnotz (1993) im Zusammenhang mit logischen Bildern. Auf den ersten Blick wird ersichtlich, wie sich die Temperaturen im Bild verteilen und auch, wie sie sich verändern. Die Verbindung mit dem Realbild, das langsam in die modellhafte Darstellung überblendet wird, soll den Kontext sicherstellen. Die modellhafte Darstellung dieser Naturerscheinung soll zur Ausbildung eines angemessenen mentalen Modells bei den Lernenden beitragen.

8.6 Interaktiv-bildhaft- dynamische Darstellungen

Zu den bereits benannten Attributen von Darstellungsformen kommt nun ein letztes, nämlich das der Interaktivität hinzu. Lernende können interaktive Bilder verändern oder aber beispielsweise über die Eingabe von Parametern Simulationen steuern, die auf mathematischen Grundlagen und physikalischen Gesetzen beruhen.

8.6.1 Funktionen von interaktiv-bildhaft- dynamischen Darstellungen

Im Zusammenhang mit Simulationen nennen Schnotz, Bannert & Seufert (2000) die Explorationsfunktion. Dabei können Lernende bei Simulationen zu Untersuchungszwecken Parameter ändern. Dies kann insbesondere für das Lernen physikalischer Inhalte genutzt werden. Neben Simulationen bieten interaktive Bildschirmexperimente - wie Kirstein (2001) sie beschreibt - ähnliche Möglichkeiten. Mit diesen auf experimentellen Daten beruhenden Darstellungen lassen sich Realexperi-

mente am Computer nachvollziehen, die normalerweise nicht zugänglich sind und analog zu einem richtigen Experiment auswerten.

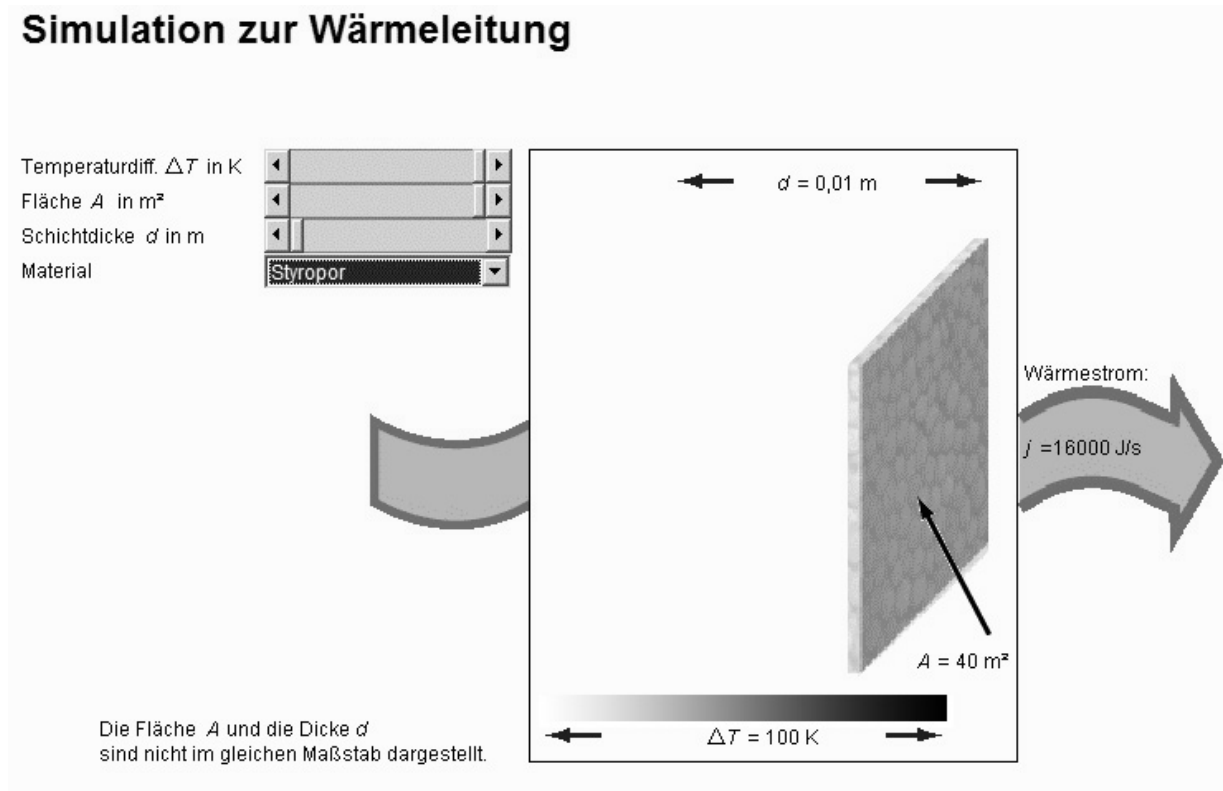


Abb. 27: Einfache Simulation zum Wärmestrom

Das einfache Beispiel einer Simulation aus der Lernumgebung berechnet den Wärmestrom abhängig von den Parametern Temperaturdifferenz, Wärmeleitwert, Schichtdicke und Größe der Durchgangsfläche (Abb. 27). Dabei werden alle eingestellten Parameter auch grafisch angezeigt. Das heißt, es verändert sich je nach Auswahl des Lernenden sowohl die Dicke als auch die Flächengröße in der Darstellung. Zudem verändert sich gegebenenfalls das Aussehen des Materials. In der gezeigten Einstellung ist beispielsweise Styropor gewählt. Mit dieser einfachen Simulation können sich die Lernenden selbständig ein Gesetz zur Wärmeleitung verdeutlichen. Realversuche zu diesem Themenbereich scheitern häufig an der Ungenauigkeit, die durch Konvektion und Strahlung verursacht sind und brauchen überdies meist viel Zeit. Die Gestaltung unterliegt wiederum den bereits bekannten Darstel-

lungsrichtlinien. So soll unter anderem die Belastung des Arbeitsgedächtnisses durch die notwendige Entschlüsselung der Darstellungscodes möglichst gering gehalten werden.

Neben Simulationen bieten aber auch interaktive Bilder interessante Möglichkeiten. Durch Anklicken bestimmter Bereiche eines Bildes können beispielsweise Bezeichnungen aufgerufen werden - und zwar so, dass eine Überlastung der Lernenden durch eine zu große Fülle an zeitgleich aufzunehmender Information vermieden wird (Weidenmann, 2002 a). So kann auch das Betrachten von Bildern einen explorativen Charakter erhalten. Auch hierzu findet sich ein Beispiel aus der Lernumgebung.

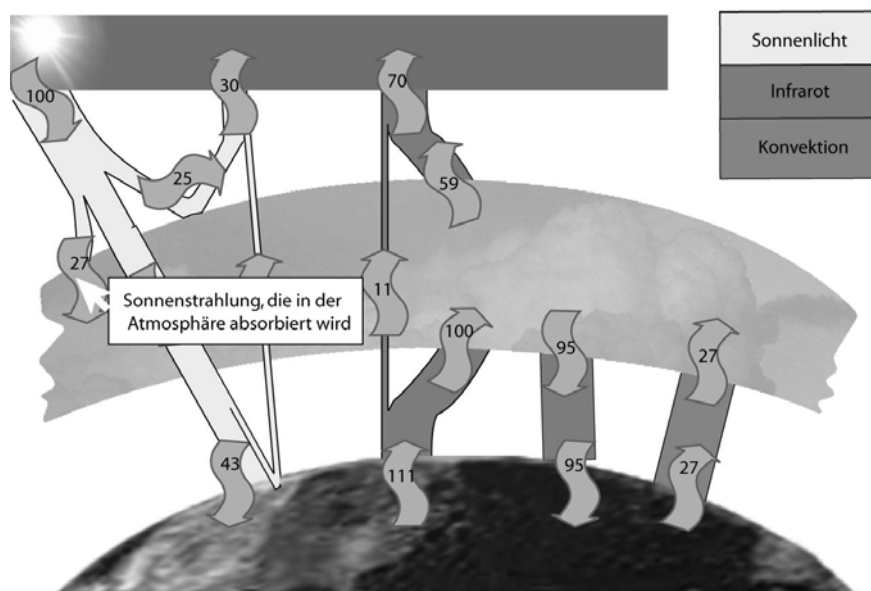


Abb. 28: Interaktives Bild zum Energiehaushalt Erde-Atmosphäre-Weltraum

Ein Beispiel ist das interaktive Diagramm zur Energiebilanz von Erde, Atmosphäre und Weltraum (Abb. 28). Hier sind sensitive Flächen, „Hotspots“, in das Bild integriert. Wird beispielsweise einer der grünen Pfeile mit dem Mauszeiger überfahren, so erscheint dort die Erklärung zu Ursache und Richtung des Energiestroms. Dadurch kann das eigentlich sehr komplexe Bild in der sichtbaren Informationsmenge reduziert werden. Dies soll einer Überforderung des Arbeitsgedächtnisses

vorbeugen. Überdies haben die Lernenden so die Möglichkeit, das Diagramm explorativ zu erkunden, was zu einer tieferen Verarbeitung der Information führen könnte.

Aber auch schon allein die Möglichkeit, einen Videofilm oder eine Animation an einer bestimmten Stelle starten und stoppen zu können, sind Interaktionsmöglichkeiten. Diese machen die Lerngeschwindigkeit für die Lernenden selbst steuerbar. Schwan & Riempp (2004) zeigten Filme über das Erstellen von Seemannsknoten. Dabei zeigte sich, dass die Lerngruppe effektiver und zeiteffizienter lernte, welche die Möglichkeit hatte, das Video an einer bestimmten Stelle zu stoppen. Aber auch dieses Ergebnis ist keinesfalls zu verallgemeinern, wie die Studie von Lowe (2004) zeigt. Bei seiner Untersuchung zu Animationen zum Wettergeschehen stellte sich nämlich heraus, dass allein die Möglichkeit, eine Animation an einer beliebigen Stelle zu unterbrechen, noch nicht dazu führt, dass die Lernenden leichter relevante Informationen aus der Animation entnehmen. Dies galt insbesondere dann, wenn die Lernenden Novizen im Themengebiet waren.

8.6.2 Verarbeitungsspezifische Anforderungen und Gestaltungskriterien

Eindeutige Gestaltungskriterien speziell für interaktiv-dynamische Darstellungen lassen sich aus der Literatur kaum entnehmen. Das bedeutet aber keinesfalls, dass es keine Rolle spielt, wie diese Darstellungen gestaltet sind. Vielmehr gelten für sie natürlich alle bereits besprochenen Gestaltungskriterien. Überdies kommen durch die Möglichkeit der Interaktion auch die mit der Selbststeuerung einhergehenden Schwierigkeiten bei solchen interaktiven Darstellungen hinzu. Deshalb ist anzunehmen, dass eine Reduzierung der mentalen Belastung durch lernunwirksame Prozesse hier besonders wichtig ist.

8.7 Multiple Repräsentationen

Von multiplen Repräsentationen soll hier die Rede sein, wenn zwei eigenständige Darstellungen zu einem Inhalt in Kombination präsentiert werden. Dabei werden

zwar häufig zwei verschiedene Codesysteme verwendet, dies muss aber nicht der Fall sein. Häufig lassen sich auch viele größere Simulationen und Text-Bild-Kombinationen zu multiplen Repräsentationen rechnen. Diesen Kombinationen von Darstellungen soll ein eigenes Kapitel gewidmet sein, weil gerade mit multiplen Repräsentationen erhofft wird, Beweglichkeit im Denken und hohe Verfügbarkeit der Wissensrepräsentation in verschiedenen Anwendungssituationen zu unterstützen.

8.7.1 Funktionen von multiplen Repräsentationen

Ainsworth (1999) identifiziert drei Hauptfunktionen, die für das Lernen mit multiplen Repräsentationen fruchtbar gemacht werden können:

- 1) Multiple Repräsentationen können sich ergänzen. Dies gilt sowohl inhaltlich als auch bezüglich der kognitiven Prozesse, die sie auslösen.
- 2) Bei multiplen Repräsentationen kann eine Repräsentation die Interpretation der anderen herausfordern. Dies kann dadurch geschehen, dass eine vertraute Darstellung die Interpretation einer weiteren herausfordert oder dadurch, dass spezielle Eigenschaften der einen genutzt werden, um die Interpretation der anderen anzuregen.
- 3) Multiple Repräsentationen können bei den Lernenden ein tieferes Verständnis eines Themengebietes erreichen. Dies kann dadurch geschehen, dass eine Repräsentation die andere abstrahiert, erweitert, generalisiert oder in Beziehung setzt.

De Jong, Ainsworth et al. (1998) fügen dem einen weiteren Aspekt hinzu. Dieser entspricht im Wesentlichen der Forderung von Spiro & Jehng (1990), bei der kognitive Flexibilität mit der Fähigkeit in Verbindung gebracht wird, unter verschiedenen internen Repräsentationsformen die geeignete zur Verfügung zu haben und mit dieser mental operieren zu können.

Zu diesen beschriebenen Vorteilen liegen auch einige Studien vor. So zeigte sich beispielsweise beim Lernen von Multiplikation in einer Studie von Harrop (2003), dass miteinander verbundene bildhafte Darstellungen, nämlich die eines Rechners und die eines Rechenbaumes, förderlich für das Verstehen dieses Inhalts waren. Weitere Ergebnisse zu multiplen Repräsentationen werden noch im Kapitel 9 zu Aktivität im Lernprozess erwähnt. Ein wesentlicher Aspekt stellt nämlich bei der Arbeit mit multiplen Repräsentationen die angemessene Unterstützung dar.

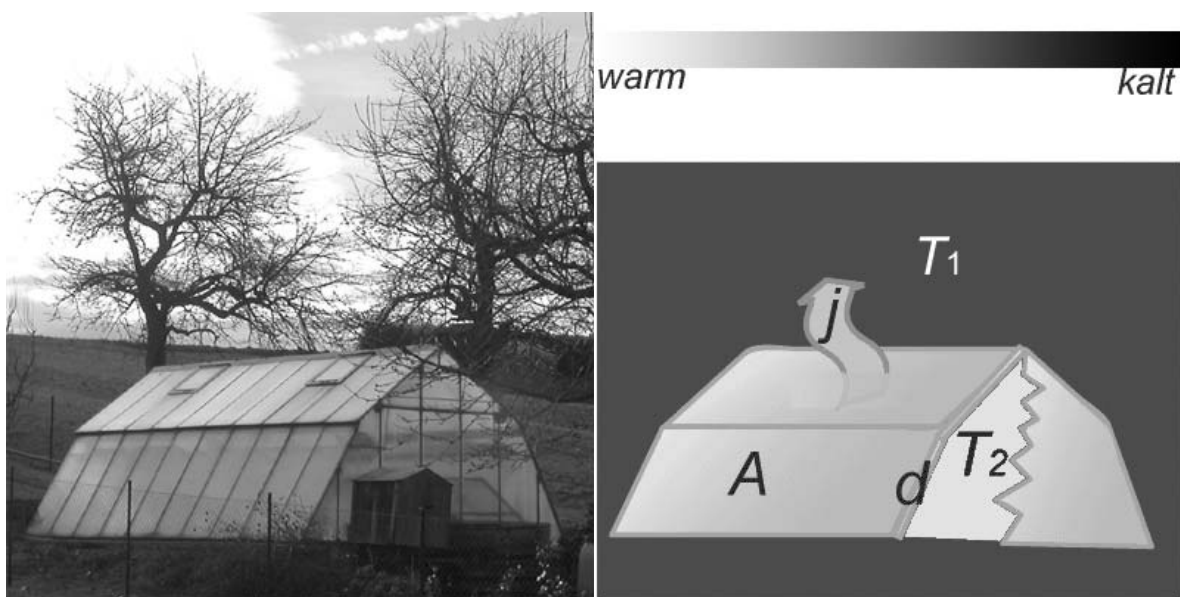


Abb. 29: Roll-Over-Bild zum Wärmestrom durch das Glas des Gewächshauses.

Physikspezifische Beispiele von multiplen Repräsentationen, die sich in der Lernumgebung finden, sind etliche Roll-Over-Bilder, so auch das Gewächshaus aus Abbildung 29 oder auch Überblendungen in Animationen (Abb. 26). Dabei soll mit der Fotografie der Kontext der Realsituation hergestellt werden. Die abstraktere Zeichnung stellt die physikalischen Zusammenhänge dar. In diesen Kombinationen wurde darauf geachtet, dass sich gleiche Elemente an der gleichen Stelle des Bildes befinden. Im Fall des Gewächshauses ergänzen sich einzelnen Darstellungen.

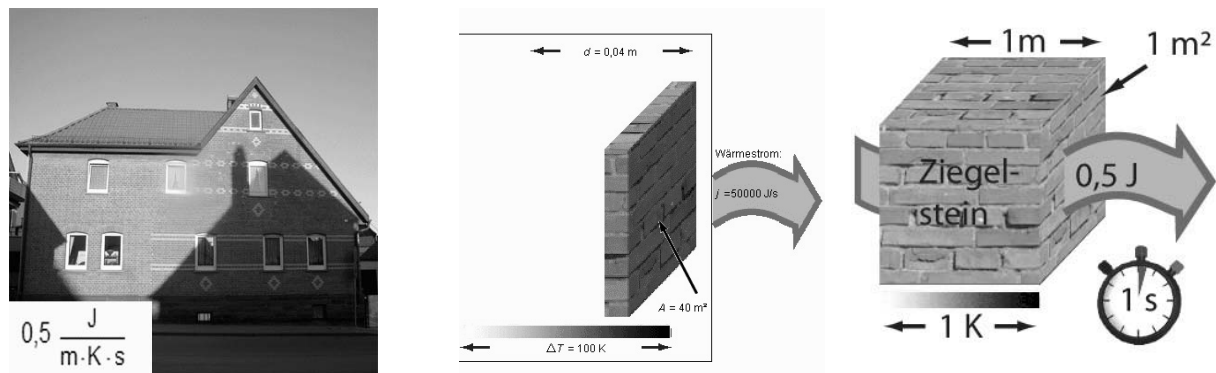


Abb. 30: Multicodierung: Anwendung mit Tabellenwert, Simulation, Infografik

Ein weiteres Beispiel ist das zur Wärmeleitfähigkeit von verschiedenen Materialien (Abb. 30). Hierzu wurde eine ganze Reihe von Darstellungen angeboten. So findet sich der Wärmeleitwert in einer Tabelle mit zusätzlichem Bild in einer typischen Anwendungssituation. Das Material lässt sich in der bereits angesprochenen Simulation einstellen, und es lassen sich bestimmte Werte abrufen. Eine Infografik bietet den Leitwert und eine sinnvolle Interpretation dieses Wertes multicodiert an, überdies erschließt das Diagramm (Abb. 20) eine Möglichkeit, direkte Vergleiche zur Isolationswirkung verschiedener Materialien anzustellen. Dabei wurde großer Wert auf die gleichartige Gestaltung und Strukturierung des Ziegelsteins und der anderen Materialien gelegt, sodass durch die Bildgestaltung die Lernenden die Verbindungen zwischen den verschiedenen Darstellungen erkennen.

Dabei ergänzen sich die einzelnen Darstellungen und erlauben verschiedene Einblicke. Überdies fordern sie auch zur Interpretation anderer Darstellungen auf, sie werfen Fragen auf wie beispielsweise: „Was hat die Uhr der Infografik mit dem Wert in der Tabelle und dieser Wert mit dem Ergebnis in der Simulation zu tun?“

Die wahrscheinlich wichtigste Funktion sollte aber die sein, dass verschiedene mentale Repräsentationen bei den Lernenden entstehen, die in Anwendungen abgerufen und kombiniert werden können. Eine mentale Repräsentation der Simulation kann bei der Beantwortung der Frage helfen, wie sich der Wärmestrom bei Ver-

doppelung der Oberfläche verändert. Eine mentale Repräsentation der Information im Balkendiagramm macht die Verhältnisse zwischen Dämmeigenschaften von Granit und Ziegelstein klar. Damit sollen diese multiplen Darstellungen vor allem die kognitive Flexibilität der Lernenden fördern.

8.7.2 Verarbeitungsspezifische Anforderungen und Gestaltungskriterien

Ainsworth, Bibby & Wood (1998) heben neben den Möglichkeiten beim Lernen mit multiplen Repräsentationen auch die Schwierigkeiten heraus, mit denen Lernende beim Arbeiten mit multiplen Repräsentationen konfrontiert werden:

- Die Lernenden müssen die einzelnen Formate und Zeichensysteme der einzelnen Darstellungen erfassen.
- Die Lernenden müssen verstehen, wie die einzelnen Darstellungen mit dem Inhalt in Beziehung stehen.
- Die Lernenden müssen verstehen, wie die einzelnen Repräsentationen untereinander in Verbindung stehen.

Die Verarbeitungsschwierigkeiten der Lernenden, die durch die einzelnen Darstellungen entstehen, lassen sich durch das Einhalten der Gestaltungsrichtlinien für die jeweilige Einzeldarstellung verringern. Um jedoch das Verständnis des Zusammenhangs zwischen den einzelnen Darstellungen des Inhalts zu fördern, bedarf es zusätzlicher Unterstützung.

Kozma (2003) schlägt beispielsweise vor, Verbindungen zwischen einzelnen Repräsentationen im Medium anzubieten, um die Zusammenhänge deutlicher zu machen, die insbesondere von Novizen in einem Themengebiet nicht erkannt werden. Solche verschiedenen Hilfen zur Kohärenzbildung beim Lernen mit multiplen Repräsentationen schlagen auch Seufert & Brünken (2004) vor.

Aber auch die Hilfen unterliegen Begrenzungen durch die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und hängen stark von der Expertise der Lernenden ab. Dabei kann die

Kohärenzbildung, also das in Zusammenhang bringen der einzelnen Darstellungen aufgrund oberflächlicher Merkmale, nach Ansicht von Seufert & Brünken (2004) beispielsweise durch folgende Maßnahmen unterstützt werden:

- Gleiche Farben markieren zusammengehörende Teile.
- Eine dynamische Verknüpfung verändert beim Einstellen des Parameters sofort den entsprechenden Bildteil - wie in der Simulation aus Abbildung 27.
- Werden Textelemente mit der Maus angefahren, werden zeitgleich zugehörige Bildteile markiert.

Aber auch für die Hilfen im eher konzeptionellen, tieferen Bereich fordern Seufert & Brünken (2004), dass diese nicht unnötig kognitive Ressourcen binden. Diese fehlen nämlich sonst für den eigentlichen Lerngegenstand und dessen Verarbeitung. Diesbezüglich schlägt Lesgold (1998) vor, Lernen mit multiplen Repräsentationen zu unterstützen. Hierzu können Aufgaben gestellt werden, die nur mit Hilfe von multiplen Repräsentationen zu bewältigen sind. Dies kann dann zur Verknüpfung der einzelnen Repräsentationen dienen. Des Weiteren können Situationen geschaffen werden, in denen der Wechsel von einer Repräsentationsform zur anderen wichtig ist.

Auch zu diesen Überlegungen soll ein Beispiel aus der Lernumgebung herangezogen werden.

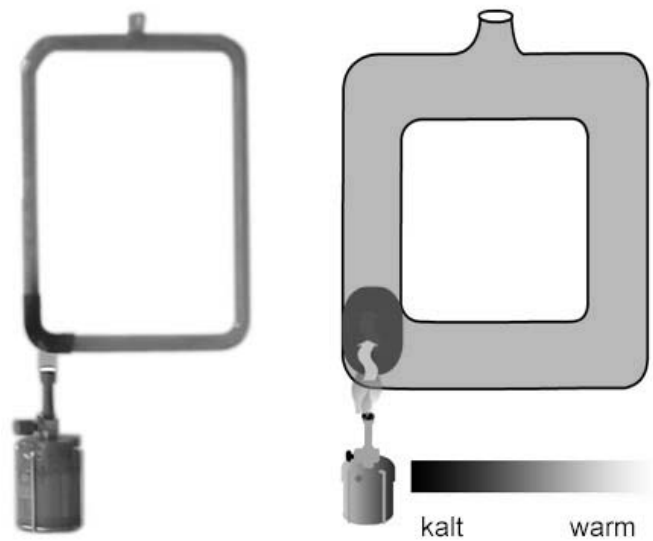


Abb. 31: Film und Animation zur freien Konvektion in einem Rohr

In Abbildung 31 ist eine multiple Repräsentation zu sehen, die aus einem Film und einer Animation besteht. Die Kohärenzbildung wird durch die Ähnlichkeit in der Darstellung unterstützt. Der Brenner in der Animation ist als Zeichnung dem richtigen Kartuschenbrenner des Films sehr ähnlich. Das Rohr ist am selben Platz und hat die gleiche Form. Beides wird an der gleichen Stelle angezeigt. Der Drehsinn der Bewegung ist identisch. Damit sollen die Lernenden die zusammengehörigen Elemente sehr rasch verbinden können.

8.8 Gestaltung der virtuellen Kamera

Am Ende des Kapitels soll die virtuelle Kamera als interaktiv-dynamisch-bildhafte Repräsentation, die aus Einzelementen zusammengesetzt ist, vorgestellt werden. Dort wurde eine ganze Reihe von Gestaltungskriterien umgesetzt.

8.8.1 Aufbau der virtuellen Kamera



Abb. 32: Aufbau der virtuellen Kamera

Die virtuelle Kamera besteht aus mehreren Elementen (Abb. 32). Besonders wichtig sind der Kamera- und Motivteil mit den zugehörigen Wahltasten und das Album, in dem die fertigen Bilder abgelegt werden können. Zudem lassen sich über die Optionen unter anderem die Lampe sowie die Hinweise und Aufgaben zuschalten. Dadurch lässt sich das Programm an die Vorkenntnisse anpassen, welche die jeweilige Lerngruppe auf dem Gebiet der Optik hat.

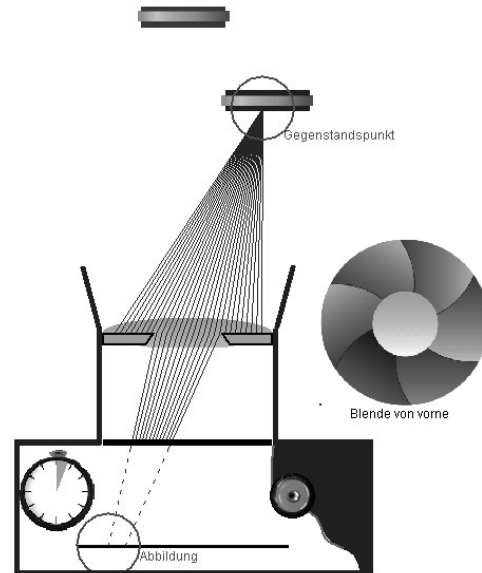
Als Steuercode wurde die grüne Farbe verwendet. Alle verwendbaren interaktiven Elemente sind damit gekennzeichnet. Interaktive Elemente, die gerade nicht angeklickt werden können, sind grau dargestellt.

Die Bedienelemente sind in räumlicher Nähe zu den Funktionen angebracht, die sie steuern. So sitzt beispielsweise die Motivwahl direkt beim Motiv und der Schalter der Lampe ist direkt an ihr angebracht.

8.8.2 Kamera und Motivteil



*Abb. 33: Fotografisch-realistische
Repräsentation*



*Abb. 34: Grafisch-modellhafte
Repräsentation*

Während die Realdarstellung den Alltagsbezug sicherstellt (Abb. 33), liegt in der Modelldarstellung der inhaltliche Schwerpunkt auf den Strahlengängen (Abb. 34). Es kann beliebig zwischen Realdarstellung und modellhafter Darstellung gewechselt werden. Die Verarbeitung der komplexen Darstellung soll durch folgende Maßnahmen erleichtert werden:

- In beiden Darstellungsformen werden die entsprechenden Elemente an jeweils der gleichen Stelle des Bildschirms gezeigt. Überdies sind die verwendeten Farben identisch. Dadurch soll die Kohärenzbildung zwischen realer Kamera und den Strahlengang beeinflussenden Elementen im Innern unterstützt werden.
- Die Anzahl der möglichen Einstellungen von Belichtungszeit und Blende wurde reduziert. Ebenso wurde beispielsweise auf eine zusätzliche Spannvorrichtung zum Filmtransport oder der Möglichkeit, die Filmempfindlichkeit einstellen zu können, verzichtet (Kohärenzeffekt).

- Schlüsselemente wie der Gegenstandspunkt und die zugehörige Abbildung auf dem Film sind mit einem roten Kreis unterlegt (Steuercode).
- Bei der modellhaften Repräsentation sind das Gehäuse und die Münzen stark schematisiert, weil hier nur der räumliche Bezug zwischen Linse, Blende und Film wichtig ist. Dagegen ist die Blende relativ detailliert abgebildet. So bekommen Lernende eine Vorstellung vom Aussehen dieses Bauteils.
- Tooltips bezeichnen wichtige Bauteile direkt an der Kamera (Prinzip der räumlichen Nähe).
- Die Bedienelemente der virtuellen Kamera sind so dargestellt, wie sie auch bei einer richtigen Kamera zu finden sein könnten (Darstellungscodes).

8.8.3 Album

Das Album bietet die Funktion des direkten Feedbacks mittels Bild (siehe Abb. 35). Es lassen sich die Bildhelligkeit und mit Hilfe einer Lupe auch die Schärfentiefe beziehungsweise Bewegungsunschärfe abschätzen. In räumlicher Nähe sind die zugehörigen Einstellungen angebracht, mit denen das jeweilige Bild aufgenommen worden ist. So dient die Möglichkeit des Löschens von Bildern weiterhin dazu, Ordnung im Album zu halten und versehentlich ausgelöste Bilder wieder zu vernichten. Für den Mechanismus zum Blättern, zum Löschen und für die Lupe in diesem Album wurde ein Darstellungscodes gewählt, der den meisten Lernenden von der Nutzung des Computers bekannt sein dürfte.



Abb. 35: Album der virtuellen Kamera

Das Kapitel zusammenfassend kann gesagt werden, dass sowohl bei der Lernumgebung Leben im Winter als auch bei der virtuellen Kamera versucht wurde, die Darstellungen so zu wählen, dass die Entschlüsselung und die Verarbeitung der Informationen möglichst wenig mentale Ressourcen binden. Dadurch soll gewährleistet werden, dass mentale Kapazitäten für die Verarbeitung der ohnehin komplexen Lerninhalte zur Verfügung stehen. Überdies wurde darauf geachtet, dass durch die multiplen externalen Repräsentationen des Inhaltes sich auch möglichst multiple interne Wissensrepräsentationen ausbilden, die eine kognitive Flexibilität im jeweiligen Wissensgebiet unterstützen. In diesem Sinne folgert auch Weidenmann (2002 b, S. 61): „Multicodierte und multimodale Präsentation kann in besonderer Weise eine mentale Multicodierung des Lerngegenstandes durch den Lerner stimulieren. Dies verbessert die Verfügbarkeit des Wissens.“

9 Aktivität im Lernprozess

Aktives Lernen zu unterstützen ist eine der Grundideen der Arbeit. Die vorgestellten Ansätze des situierten Lernens, aber auch die Theorien der Informationsverarbeitung, betonen diesen Aspekt. Empirische Befunde gerade aus dem Bereich des Lernens mit digitalen Medien belegen, dass mentale Aktivität wichtig für das Lernen ist. Dabei lassen sich verschiedene Richtungen erkennen: Während entdeckendes Lernen vor allem die Selbsttätigkeit der Lernenden betont, sehen Ansätze aus der cognitive load theory eher die Unterstützung und die Steuerung dieser Aktivität als wesentliches Element. In beiden Fällen kommen als Mittel sowohl Interaktivität als auch spezielle Aufgabenstellungen und Arbeitsaufträge in Frage.

9.1 Aktivität beim Lernen

In den bereits angesprochenen Ansätzen besteht weitgehend Einigkeit darüber, dass die Aktivität im Lernprozess gerade beim Arbeiten mit neuen Medien wichtig ist. Lernwirksame Aktivität lässt sich aber selbstverständlich auch mit älteren kognitionspsychologischen Ansätzen begründen. So gehen beispielsweise bereits Craik & Lockhart (1972) davon aus, dass die Nachhaltigkeit einer Erinnerung im Gedächtnis davon abhängt, wie intensiv ein Reiz verarbeitet wurde und wie die Information elaboriert wurde. Sie erfassen dies mit dem Begriff der Verarbeitungstiefe.

Auch im Zusammenhang mit mentalen Modellen spielt die aktive Verarbeitung eine große Rolle. So sieht Dutke (1994), dass sich exploratives Handeln und mentales Modell gegenseitig bedingen. Lernende können Hypothesen am mentalen Modell generieren und am Original überprüfen. Ohne ein bereits vorhandenes, wenn auch unzureichendes Modell ist allerdings kein exploratives Handeln möglich. Je nachdem, wie die Überprüfung am Original ausfällt, kann dann das mentale Modell gänzlich verworfen, bestätigt, erweitert oder modifiziert werden.

Aber nicht nur die Argumentation in der Richtung, dass Aktivität beim Lernprozess mit neuen Medien wichtig ist, spielt eine Rolle. Auch deren Umkehrung ist interes-

sant: Lernen mit Multimedia kann Aktivität beim Lernen fördern. So zieht Weidenmann (2002 b, S. 61) den Schluss: „Interaktive, multicodele und multimodale Lernangebote eröffnen den Lernenden eine Vielfalt von Aktivitäten. Dies erweitert das Spektrum ihrer Lernstrategien und Lernerfahrungen.“ Nicht zuletzt als Konsequenz daraus resümiert Weidenmann (2002 b) als didaktische Anregung, dass Lernangebote so zu gestalten sind, dass die Auseinandersetzung mit dem Inhalt durch optimale Präsentation und optimale Unterstützung erreicht wird. Gerade diese Unterstützung soll im Folgenden genauer analysiert werden.

9.2 Empirische Ergebnisse zur Aktivität beim Lernen

Die Informationsentnahme und die Verarbeitung der verschiedenen Darstellungen bedürfen der Unterstützung. Eine Reihe von empirischen Arbeiten legt diese Vermutung nahe. Interessant hierzu ein aktueller Übersichtsartikel Mayers mit alten Daten zum entdeckenden Lernen, der sich in einem Satz zusammenfassen lässt:

„Pure discovery did not work in the 1960s, it did not work in the 1970s, and it did not work in the 1980s, so after these three strikes there is little reason to believe, that pure discovery will somehow work today” (Mayer, 2004, S. 18).

Im Einzelnen analysiert Mayer (2004) dabei empirische Ergebnisse zum entdeckenden Lernen in den sechziger bis achtziger Jahren. Er arbeitet heraus, dass geleitetes entdeckendes Lernen sowohl bessere Transfer- als auch Wiedergabeleistungen zeigte als freie Exploration. Überdies erwies es sich als förderlich für den Lernerfolg, wenn die Lernzielorientierung vorgegeben war. Unstrukturierte Explorationsprozesse fielen dagegen ab. Aus diesen Ergebnissen zieht er den Schluss, dass Aktivität beim Lernen nicht als schieres Handeln zu verstehen ist, sondern vielmehr als kognitive Aktivität, die Auswahl und Verarbeitung der Information umfasst.

Aber natürlich liegen auch auf aktuelleren Daten beruhende Ergebnisse speziell im Bereich Lernen mit Medien hierzu vor. Auch diese legen eine Unterstützung lernförderlicher Aktivität beim Lernprozess nahe. So stellten beispielsweise Schnotz,

Picard & Henninger (1994) Unterschiede beim Einsatz von Texten und Bildern zum Themenbereich Zeitzonen fest. Dabei unterschieden sich die erfolgreichen von den unerfolgreichen Lernenden unter anderem darin, dass die eher erfolgreich Lernenden sowohl die relevante Information zu geeigneter Zeit aufgerufen als auch das Bildmaterial nicht nur teilweise interpretiert haben. Die Autoren ziehen daraus den Schluss, dass eine geeignete Anleitung die Bildverarbeitung unterstützen könnte. Überdies sehen sie aber auch die Möglichkeit, die Lernenden durch Aufgaben zu unterstützen, welche in einer sinnvollen Reihe angeordnet sind.

Zudem ist anzunehmen, dass die Unterstützung bei diesen Aktivitäten eine noch größere Rolle spielt, wenn die Lernaktivitäten komplexer werden. Vermutlich deshalb finden sich gerade im Bereich von multiplen interaktiven Repräsentationen auch einige Untersuchungen, die aktive Lernprozesse zu unterstützen versuchen. So sehen beispielsweise Bodemer, Plötzner, Feuerlein & Spada (2004) zwar das hohe Potential von interaktiven dynamischen multiplen Repräsentationen, aber auch die Probleme in deren kognitiven Verarbeitung. Bei zwei Experimenten, in denen Abläufe von mechanischen Geräten und Inhalte aus der Statistik mit interaktiven dynamischen Repräsentationen gelernt werden sollten, zeigte sich, dass die Aufgabe, unbekannte mit bekannten Darstellungen in Beziehung zu setzen, die Lernenden zu lernförderlicher interner Aktivität angeregt hatte.

Aber auch im Bereich der Aktivität sind die Erfolge von vielen Faktoren abhängig. Unter anderem scheint es so etwas wie eine Sättigung der Aktivierung zu geben. So unterstützen Bodemer & Plötzner (2004) in einer Untersuchung die Lernenden im Umgang mit interaktiven multiplen Repräsentationen in einer strukturierten Art und Weise. Die Lernenden sollten algebraische Ausdrücke, Beschreibungen und bildhafte Darstellungen miteinander verknüpfen. Sie erreichten dabei signifikant bessere Ergebnisse als diejenigen, bei denen vergleichbare Verknüpfungen bereits vorgegeben waren. Überdies wurde mit positivem Ergebnis getestet, wie sich das Bilden von Hypothesen auf den Lernerfolg auswirkt. Dabei profitierte die Lerngruppe, die ohnehin schon durch das Integrieren in einen aktiven Lernprozess eingebunden

war nicht zusätzlich von den Aufgaben. Die Gruppen, bei denen jedoch keine Prozesse zur Kohärenzbildung angeregt wurden, profitierten hingegen schon.

9.3 Interaktivität und Aufgaben fördern lernwirksame Aktivität

Prinzipiell bieten sich mindestens zwei Möglichkeiten an, lernwirksame Aktivität zu unterstützen. Dies kann einerseits direkt durch interaktive Elemente geschehen, andererseits aber auch durch Aufgabenstellung oder Hinweise. Diese können, müssen aber keinesfalls im Medium stattfinden.

9.3.1 Interaktivität und kognitive Aktivierung

Interaktivität als Eigenschaft von Multimedia wurde in dieser Arbeit schon mehrfach angesprochen. Im Zusammenhang mit der Förderung lernwirksamer Aktivität durch Interaktivität sollen nochmals einfache Formen der Interaktivität gegenüber gestellt werden. So untersuchten Mayer & Chandler (2001) dabei die Ergebnisse von Lernenden, die eine Animation mit Begleittext zur Entstehung eines Gewitters zu sehen bekamen. Dabei zeigte sich, dass bei Transfertests diejenigen besser abschnitten, welche die Geschwindigkeit der Animation dadurch bestimmen konnten, dass neue Abschnitte der Erklärung durch einen „Klick“, ausgelöst werden konnten. Mayer & Chandler (2001) gehen davon aus, dass dadurch Teile von mentalen Modellen zuerst erstellt werden, und diese danach zu einem Ganzen zusammengesetzt werden können. Schnotz, Böckheler & Grzondziel (1999) kamen in einer ähnlichen Studie zu anderen Ergebnissen. Dort konnten mit interaktiver Steuerung Animationen angehalten und deren Ablaufgeschwindigkeit variiert werden. In der ersten Studie konnten keine Vorteile gegenüber Darstellungen ohne Interaktivität festgestellt werden. In der zweiten Studie hatten die Lernenden sogar Nachteile gegenüber der Kontrollgruppe und zwar sowohl beim Erkennen von Detailinformationen als auch bei Aufgaben, die mentale Simulationen erforderten.

Nicht zuletzt aufgrund solcher Ergebnisse ist die bereits erwähnte Unterscheidung Strzebkowskis & Kleebergs (2002) in Steuerungsinteraktion und didaktische Inter-

aktion sinnvoll. Deshalb wurde auch in den Lernumgebungen versucht, vorwiegend didaktische Interaktionsmöglichkeiten anzubieten, die möglichst aktives Denken und Elaborationsprozesse auslösen und damit auch zum gewünschten einsichtsvollen und entdeckenden Lernen anregen können.


Ein Beispiel hierzu ist, wie bereits angesprochen, das virtuelle Säugetier (Abbildung 11), bei dem Parameter eingestellt werden können, die darüber entscheiden, ob dieses Tier eine Überlebenschance im Winter hat. Aber auch die Simulation (Abbildung 27), welche die Zusammenhänge bei der Wärmeleitung deutlich macht, bietet didaktische Interaktionsmöglichkeiten. Überdies lassen sich nahezu die gesamten Interaktionsmöglichkeiten bei der virtuellen Kamera ebenfalls so bezeichnen.

9.3.2 Aufgaben und Hinweise

Neben der Interaktivität bieten zusätzliche Aufgaben und Hinweise eine Möglichkeit, das aktive Lernen am Computer zu unterstützen. So sehen beispielsweise auch Petschenka, Ojstersek, & Kerres (2004) die Funktion von Lernaufgaben darin, Lernprozesse auszulösen und sicher zu stellen. Je nach Zielsetzung soll die Aufgabe lernwirksame kognitive Prozesse auslösen oder motivieren. Darüber hinaus sind beispielsweise Anwendung, Übung oder aber auch Prüfung Funktionen, die eher den Charakter der Sicherung haben. Als mögliche Formen von Aufgaben nennen Petschenka et al. (2004) Multiple-Choice-Tests und Lückentexte als einfache Aufgabentypen, während Verständnisaufgaben, Analyseaufgaben oder Problemlösaufgaben als eher komplexe Aufgabentypen charakterisiert werden. Dabei sollten komplexe Lernaufgaben in kleinere Sequenzen zerlegt sein.

Aber auch Verarbeitungshinweise, was genau zu beobachten ist, können hilfreich sein, um gezielt Informationen aus Darstellungen zu entnehmen. So schlägt beispielsweise Winn (1993) vor, den Lernenden eine klare Anleitung zur Bildbetrachtung oder Bildinterpretation zu geben.

Ein Großteil dieser zusätzlichen Aufgaben oder Hinweise wurde in beiden Lernumgebungen den Lernenden außerhalb des Computers in Form eines Arbeitsheftes angeboten. Dabei wurden besonders bei der Lernumgebung Leben im Winter etliche der von Petschenka et al. (2004) genannten Vorschläge umgesetzt. Im Folgenden werden einige Beispiele dazu erläutert.



5. Konvektion: Fülle jede Lücke mit einem Begriff aus dem Wörternvorrat. Vorsicht, nicht alle passen.

Wörternvorrat: Zentralheizung, Flüssigkeiten, Herdplatte, Feststoffen, Aufstieg von Warmluft, Fön, Sonnenstrahlung, Gasen, Energie

Bei der Konvektion wird _____ transportiert. Konvektion kann, da Stoffe sich bewegen müssen, nur in _____ oder in _____ stattfinden. Wichtige Beispiele für den Energietransport durch Konvektion sind _____, _____ und _____

Abb. 36: Lückentext aus dem Arbeitsheft zur Lernumgebung „Leben im Winter“

Abbildung 36 zeigt ein Beispiel für einen Lückentext. Dieser Text regt dazu an, die Information, die auf einer Text-Bild Kombination zum Thema Konvektion gegeben ist, zu entnehmen und zusammenzufassen. Darüber hinaus müssen aber auch Schlüsse gezogen werden, weil die Beispiele nicht explizit im Text genannt werden. Dadurch, dass nicht alle Wörter passen, ist die Aufgabe ohne das Verständnis des Textes kaum zu leisten.

9. Strahlung: Setze den richtigen Kennbuchstaben in das Kästchen ein:

- | | | |
|--------------|--------------------------|---|
| Absorption | <input type="checkbox"/> | ...a) verringert die innere Energie des Körpers. |
| Transmission | <input type="checkbox"/> | ...b) beeinflusst die innere Energie des Körpers nicht. |
| Reflexion | <input type="checkbox"/> | ...c) vergrößert die innere Energie des Körpers. |
| Emission | <input type="checkbox"/> | |

Abb. 37: Multiple-Choice aus dem Arbeitsheft zum „Leben im Winter“

Abbildung 37 zeigt ein Beispiel für eine Multiple-Choice-Aufgabe. Diese Aufgabe regt dazu an, die Information zu Absorption, Transmission, Reflexion und Emission von Strahlung auf die Veränderung der inneren Energie eines Körpers zu beziehen. Diese Themen sind auf mehreren Seiten in Text-Bild-Kombinationen angeboten. So kann eine Vorauswahl von wichtigen Informationen getroffen werden.

**10. Bestimme jeweils die Größe des kleinen und des großen Wärmestroms in der Animation.**

Zähle dazu die Pfeile, die eine Energieportion von 100 J enthalten sollen. Miss die Zeit mit der Uhr. Beziehe den Wärmestrom auf eine Sekunde.

Hierzu ein Beispiel: 3 Pfeile in 6 Sekunden: $\frac{3 \cdot 100 \text{ J}}{6 \text{ s}} = 50 \frac{\text{J}}{\text{s}}$

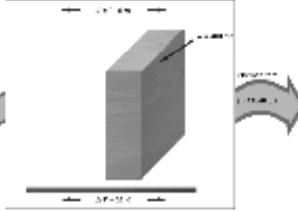
Kleiner Wärmestrom: _____ Pfeile in _____ Sekunden: =

Großer Wärmestrom: _____ Pfeile in _____ Sekunden: =

Abb. 38: Aufgabe im Stile eines completion problems zum Wärmestrom

Abbildung 38 zeigt ein Beispiel einer Aufgabe, die im Sinne eines completion problems gestellt ist (hierzu später mehr). Diese Aufgabe bietet zuerst eine Orien-

tierung an, wie sie zu lösen ist und ermöglicht so genug Ressourcen zum Verständnis des eigentlichen inhaltlichen Problems. Dies ist in diesem Fall die Bildung des Quotienten aus Energiemenge und Zeit. Dazu müssen die Lernenden die Animation aus Abbildung 3 aufrufen und den Wärmestrom durch Abzählen der Energieportionen und Messen der Zeit bestimmen.



11. Bestimme mit Hilfe der Simulation den Wärmestrom, der durch eine Holzfläche dringt. Stelle dazu die benötigten Werte ein und trage den Wärmestrom in die Tabelle ein.

Die Temperaturdifferenz beträgt 10 Kelvin.

Die Fläche beträgt 20 m².

Die Trennschicht hat eine Dicke von 0,1 m.

Das Material ist Holz.

Ermittelter Wärmestrom bei 10 Kelvin:	
Wärmestrom bei einem verdoppelten Temperaturunterschied von 20 Kelvin:	
Wärmestrom bei einem vierfachen Temperaturunterschied von 40 Kelvin:	

Abb. 39: Aufgabe zum Arbeiten mit der Simulation

Abbildung 39 zeigt ein Beispiel einer Aufgabe, mit der das Einstellen von Parametern an der Simulation geübt werden soll. Damit wird eine Versuchsreihe vorbereitet, die zur Aussage: „Der Wärmestrom ist proportional zur Temperaturdifferenz“ führen soll. Das Schwierigkeitsniveau ist dabei sehr niedrig gewählt, da die Lernenden zuerst die dynamische und interaktive Simulation und ihre Einstellmöglichkeiten

keiten kennen lernen sollen, bevor sie damit Aufgaben lösen, die komplexerer Natur sind.

12. Vervollständige mit den Werten von Aufgabe 11 das Schaubild für Holz rechts.

Das Diagramm rechts zeigt die Abhängigkeit des Wärmestroms von der Temperaturdifferenz. Es handelt sich um Holz der Schichtdicke 0,1 m und einer Trennfläche von 20 m².

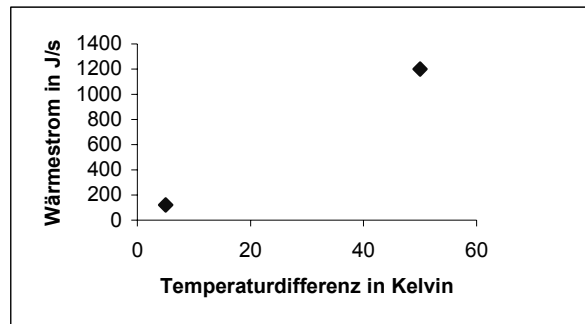
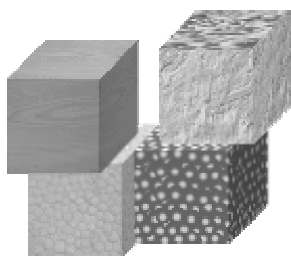


Abb. 40: Aufgabe zum Arbeiten mit der Simulation

Abbildung 40 zeigt ein Beispiel einer Aufgabe, die den Wechsel von Darstellungsformen fördern soll. Es wird nämlich das Umsetzen von Zahlenwerten in ein einfaches Diagramm geübt. Auch dies ist ein Schritt der externen Multicodierung von Inhalten zur Förderung der kognitiven Flexibilität in diesem Wissensgebiet. Hier wird ebenfalls das Erkennen der Proportionalität vorbereitet. Damit gehören also Aufgabe 11, 12 und auch 13 und 14 (hier nicht abgebildet) zum gleichen Inhaltsgebiet und sind damit angemessen sequenziert.



20. Ordne Holz, Schnee, Styropor und Fett nach ihrer Wärmeleitfähigkeit.

Beginne mit dem Material, welches die geringste Wärmeleitfähigkeit hat.

Abb. 41: Aufgabe zum Arbeiten mit verschiedenen Repräsentationen

Abbildung 41 zeigt ein Beispiel einer Aufgabe, welche die Kohärenzbildung zwischen mehreren Repräsentationsformen anregt. In keiner einzigen Darstellungsform am Computer sind dafür alle benötigten Werte zu finden. So müssen einige Werte an der Simulation eingestellt werden und andere sind als Tabellenwert erhältlich, während wieder andere nur in Form des Diagramms vorkommen. Dies macht es für die Lernenden unerlässlich, die Werte von einer Darstellungsform in eine andere zu übersetzen.

9.4 Schwerpunkte der Unterstützung zum aktiven Lernen

Lernaktivität kann durch verschiedene Maßnahmen, die unterschiedlichen methodischen Ansätzen entstammen, unterstützt werden. Zwei Schwerpunkte sollen hier kurz diskutiert werden:

- die Unterstützung der Lernaktivitäten bei Formen des entdeckenden Lernens
- die Förderung des Aufbaus mentaler Repräsentationen durch geeignete instruktionale Maßnahmen

Dabei ist zu betonen, dass sich beide Ansätze nicht ausschließen und sich deshalb auch nicht eindeutig voneinander abgrenzen lassen. Überdies gilt vermutlich, dass der Erfolg eines Ansatzes vom Inhalt, der Zielsetzung, und den Lernenden abhängen und deshalb generelle Aussagen auch hier nicht getroffen werden sollten. Als einen Beleg hierfür lassen sich die Ergebnisse aus einer Studie von Touvinen & Sweller (1999) beurteilen. Dort wurde entdeckendes Lernen bezüglich des Lernerfolges mit dem Lernen mit worked examples verglichen. Dafür wurde das Erlernen eines Systems zur Datenverwaltung als Inhalt gewählt. Es zeigte sich, dass Lernende ohne jedes Vorwissen eher von den vorgegebenen Musteraufgaben profitierten, aber Lernende, die bereits Vorwissen in einem Themengebiet erworben hatten, durchaus auch mit dem explorativen Arbeiten vergleichbare Ergebnisse erzielten.

9.4.1 Unterstützung beim entdeckenden Lernen

Formen des entdeckenden Lernens scheinen als methodisch-didaktische Form für das Arbeiten mit interaktiven Computeranwendungen geeignet. So sehen beispielsweise auch Schmidkunz & Lindemann (1999) im forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren eine Möglichkeit, Unterricht auch mit Simulationen am Computer zu realisieren. Dabei nehmen die Simulationen die jeweilige Stellung des Experiments in diesem Unterrichtsschema ein. So kann beispielsweise die Problemstellung mit der Simulation geschehen, und vor allem die Überprüfung der Hypothesen stattfinden. Dabei sollte aber nicht nur nach Auffassung von Schmidkunz & Lindemann (1999) eine Unterstützung erfolgen. So schlagen auch de Jong & van Joolingen (1998) nach einem Reviewprozess vor, wie entdeckendes Lernen mit Computersimulationen unterstützt werden kann. Dabei fanden sie folgende generellen Probleme der Lernenden beim entdeckenden Lernen mit Simulationen:

- Schwierigkeiten beim Bilden von Hypothesen
- Schwierigkeiten beim Design von Experimenten
- Schwierigkeiten bei der Interpretation von Ergebnissen
- Schwierigkeiten, den eigenen Lernprozess zu steuern

In Folge dessen schlagen de Jong & van Joolingen (1998) vor, genau diese Prozesse zu unterstützen. So besteht die Möglichkeit, die Gestaltung von Experimenten durch Hinweise im Programm und den Selbststeuerungsprozess durch Vorstrukturieren des Entdeckungsprozesses besser zu unterstützen.

Aufgabe 1)

Gib, **bevor du es ausprobiert hast**, einen Tipp ab, wie du das dunkelste Bild und das hellste Bild mit den Münzen einstellen würdest.

Bild beson- ders	hell	dunkel
Blendenzahl:		
Belichtungs- zeit:		

Aufgabe 2)

Fotografiere nun das hellste und das dunkelste Bild nach deinen Einstellungen von Aufgabe 2. Hat dein Tipp wirklich gestimmt? Wenn nein, verbessere deinen Vorschlag.

Aufgabe 4)

Welche unterschiedlichen Möglichkeiten, ein Bild heller zu machen, hast du bereits kennen gelernt? Notiere zwei Sätze und überprüfe sie.

Abb. 42: Teile des Arbeitsheftes, das entdeckendes Lernen unterstützen soll

Abbildung 42 zeigt Beispiele zu Aufgaben aus dem Arbeitsheft zur virtuellen Kamera, welches das entdeckende Lernen unterstützen soll. In Aufgabe 1) wird eine einfache Form der Hypothesenbildung angeregt. Das Problem ist hinreichend komplex, weil zwei Parameter eingestellt werden sollen. Mit Aufgabe 2) wird das Experimentieren bezogen auf die Hypothese angeregt und mit Aufgabe 4) die Formulierung der Ergebnisse. Dennoch ist der Explorationsprozess eher selbst gesteuert und es ist keine klare Sequenzierung in der Parametereinstellung vorgegeben.

Um den Auf- und Ausbau mentaler Modelle durch exploratives Lernen anzuregen, nennt Dutke (1994) folgende Voraussetzungen und Möglichkeiten, wie dies zu gewährleisten sein könnte:

- Für wirksames explorierendes Lernen ist zumindest ein unvollständiges mentales Modell Voraussetzung.

- Die Selbststeuerung des Lernprozesses ist zumindest im weiteren Verlauf des Lernprozesses anzustreben, wenn die Voraussetzungen beim Lernenden bereits geschaffen sind.
- Die Explorationsziele, die den Lernenden nicht bekannt sind, sollten vorgegeben werden.
- Die Einschränkung der Lernumgebung am Anfang kann hilfreich sein, um die Überlastung im Explorationsprozess zu vermeiden. Dabei ist aber darauf zu achten, dass den Lernenden die Einschränkung transparent ist.
- Der Explorationsprozess sollte dem Lernenden bewusst gemacht werden. Dabei können Hinweise helfen, wie der Lernende den jeweiligen Zustand erreicht hat. So kann dies mit seinem mentalen Modell abgeglichen werden.
- Die Lernenden sollten die Möglichkeit haben, vom gleichen Anfangszustand „Fehler“ zu korrigieren, indem sie Parametereinstellungen ändern können. Dies setzt eine Undo-Möglichkeit voraus.

9.4.2 Hilfen zum Aufbau mentaler Strukturen

Pollock, Chandler & Sweller (2002) konnten mit vier Experimenten zeigen, dass die Informationsverarbeitung besser war, wenn besonders komplexe Information zuerst in Einzelelemente zerlegt angeboten wurde und erst in Nachhinein als Ganzes. Insbesondere kommen dabei die Vorteile für Novizen in Wissensgebieten zum Tragen. Nachdem aber bereits Einzelelemente in Schemata eingebunden sind, sollte die vollständige komplexe Situation präsentiert werden.

In ihrem Überblicksartikel nennen Sweller, van Merrienboër & Paas (1998) unter anderem zwei weitere Möglichkeiten, durch geeignete Instruktion Lernprozesse anzuregen - nämlich das bereits angesprochene Vorgeben von worked examples oder auch das Anbieten von completion problems.

Worked examples, die Vorgabe von Lösungsbeispielen zu Problemen, reduzieren die mentale Belastung beim Wissenserwerb, weil die Aufmerksamkeit der Lernenden nicht auf Mittel-Ziel-Analysen eines typischen Problemlösevorgangs liegen. Bei der Arbeit mit worked examples sind durch das Vorgeben der Lösungsschritte hinreichend mentale Ressourcen frei, die den Schemaerwerb der Lernenden ermöglichen sollen. Neben der Schwierigkeit, überhaupt gute Lösungsbeispiele zu geben, besteht ein weiteres Problem darin, dass Lernende sie häufig nicht hinreichend durcharbeiten (Sweller, van Merriënboër & Paas, 1998).

Completion problems sind nach Auffassung von Sweller, van Merriënboër & Paas (1998) eine weitere Alternative. Dabei werden halbfertige Problemlösungen angeboten, bei denen Teile bereits ausgeführt sind und als Orientierung dienen, während andere Teile von den Lernenden noch erarbeitet werden müssen. Diese sind quasi eine Brücke zwischen worked examples und freien Problemen. Der Vorteil dabei ist, dass die Lernenden die Lösungsbeispiele durcharbeiten müssen, um ihren eigenen Teil überhaupt lösen zu können. Auch hier besteht das Ziel darin, mentale Kapazitäten für den eigentlichen Schemaerwerb freizuhalten.

Aufgabe Nr. 1

Stelle Blendenzahl 4 ein. Verändere nun schrittweise die Belichtungszeit. Stimmen deine Ergebnisse mit der Tabelle überein?

Belichtungszeit	Bildhelligkeit
1/250 s	dunkel
1/60 s	mittel
1/15 s	hell

Aufgabe Nr. 2

Stelle nun die Belichtungszeit 1/60 s ein. Verändere nun schrittweise die Blendenzahl und ergänze die Tabelle (hell, mittel).

Blendenzahl	Bildhelligkeit
8	dunkel
4	
2	

Aufgabe Nr. 3

Fotografiere nun das hellste und das dunkelste Bild. Trage die Werte in die Tabelle ein:

Bild besonders	hell	dunkel
Blendenzahl:		
Belichtungszeit:		

Abb. 43: Teile des Arbeitsheftes, das die mentale Belastung reduzieren soll

Abbildung 43 zeigt Beispiele zu Aufgaben aus dem Arbeitsbogen zur virtuellen Kamera, der Maßnahmen enthält, die kognitiv entlasten sollen. So lässt sich Aufgabe Nr. 1 als sehr einfaches worked example bezeichnen, das vorgibt, wie die Belichtungszeit zu verändern ist. Die Lernenden können dies mit ihrer Kamera nachstellen und sollen so den Zusammenhang zwischen Belichtungszeit und Bildhelligkeit kennen lernen. Aufgabe Nr. 2 ist ein Beispiel für ein sehr einfaches completion problem. Dabei wurde insgesamt auf eine klare Sequenzierung Wert gelegt und die Selbststeuerung der Lernenden ist als gering zu bezeichnen. Der Bogen ist ansonsten - verglichen mit dem Bogen, der zur Unterstützung des entdeckenden Lernens eingesetzt wurde - als inhaltsgleich zu bezeichnen.

Das Kapitel zusammenfassend kann gesagt werden, dass lernwirksame Aktivitäten sowohl durch Interaktivität als auch durch zusätzliche Aufgaben angeregt werden können. Dabei kann die Unterstützung verschiedene Ausprägungen haben, die auf unterschiedlichen theoretischen Ansätzen beruhen. Deren Effizienz und Effektivität hängt, wenn Zielsetzung und Inhalt gleich sind, vermutlich auch von personenbezogenen Faktoren ab. Generell ist anzunehmen, dass sich ein besserer Lernerfolg durch eine Unterstützung dieser Aktivität einstellt.

10 Einflüsse individueller Unterschiede der Lernenden

In den genannten Ansätzen werden individuelle Unterschiede der Lernenden als Einflussfaktoren beim Erwerb von Wissen genannt. Das Lernangebot sollte daran angepasst sein. Wichtig sind das themenspezifische Vorwissen und das fachmethodische Wissen. Aber auch andere Unterschiede bei den Lernenden wie beispielsweise deren räumliches Vorstellungsvermögen oder deren Bereitschaft zur Anstrengung beeinflusst das Lernergebnis. Diese Einflussfaktoren sollen im Folgenden diskutiert werden. Der Schwerpunkt hierbei liegt auf den Wechselwirkungen des themenspezifischen Vorwissens beziehungsweise dem fachmethodischen Wissen mit den jeweiligen Darstellungen sowie der Aktivierung der Lernenden.

10.1 Anpassung an individuelle Unterschiede

Individuelle Unterschiede – zum Beispiel die Vorerfahrungen auf dem Themengebiet - der Lernenden können mit der Darstellungsform und der Instruktion wechselwirken und so Unterschiede im Lernerfolg bedingen. So spielt auch im Bereich kognitionspsychologischer Forschung die Berücksichtigung der individuellen Lernvoraussetzungen eine große Rolle. Beispiele hierzu sind wiederum die cognitive load theory oder die Multimediatheorie Mayers, um nur einige zu nennen. Leutner (2002) bezieht dieses Zusammenspiel speziell auf das Arbeiten mit dem Computer und betont, dass es Unterschiede bezüglich der benötigten Unterstützung von Benutzern für das Erreichen von Lernzielen gibt. Dabei ist die Individualität des Lernprozesses wichtig, bei dem es darum geht, nicht nur Wissen zu erwerben, sondern dieses Wissen, und darüber hinaus auch Fertigkeiten und Einstellungen, zu verändern.

Bei der Computernutzung lassen sich beispielsweise der Instruktionsumfang und damit die Lernzeit verändern. Zudem können die Reihenfolge, in der die Information zugänglich gemacht wird, die Aufgabenschwierigkeit und die jeweiligen Hilfen beispielsweise beim entdeckenden Lernen variieren (Leutner, 2002). Ein weiteres

Beispiel ist die Frage nach dem Maß der Steuerung bei Lernprozessen. Diese beantwortet Leutner (2002) einfach, aber keinesfalls trivial: Wenn der Lernende zu recht kommt, sollte möglichst wenig eingegriffen werden.

Zuerst stellt sich aber die Frage, welche Vorbedingungen der Lernenden bei der Anpassung des Lernangebotes überhaupt berücksichtigt werden sollten.

10.2 Personenbezogene Einflussfaktoren auf den Lernerfolg

Mögliche individuelle Einflussfaktoren auf den Lernerfolg gibt es viele. Darunter fallen Intelligenz, Sprachvermögen, Einstellung zum Thema, zur Lehrperson, zum Medium, Computervorerfahrung und viele andere. Alle zu analysieren oder gar in einer Untersuchung zu berücksichtigen, wäre nahezu unmöglich. Deshalb kann in diesem Abschnitt auch nur eine Auswahl angesprochen werden. Lernstile, räumliches Vorstellungsvermögen und die Fähigkeit zur Bilderkennung stehen in Zusammenhang mit den verwendeten Darstellungsformen und sollen deshalb hier wenigstens schlaglichtartig aufgeführt werden. Aber auch die Anstrengung, die aufgebracht wird, kann mit dem Medium in Zusammenhang stehen. In den folgenden Abschnitten liegt das besondere Interesse dann auf themenbezogenem und fachmethodischem Vorwissen, beziehungsweise auf dessen Wechselwirkung mit Darstellungsform und Methoden zur Aktivierung der Lernenden.

10.2.1 Lernstile

Kognitive Stile, also wie Lernende Inhalte verarbeiten, sind nach Ansicht von Ausburn & Ausburn (1978) als Charakteristika von Lernenden zu berücksichtigen. So untersuchten beispielsweise Crosby & Iding (1997) die Leistungsunterschiede beim Lernen mit einem Computer-Tutorium zur Energie und zum Energieübertrag. Dabei wurden die Lernenden zu zwei Gruppen bezüglich der Informationsverarbeitung durch den „Human Information Processing Survey“ zugeordnet. Diese Gruppen lassen sich mit „rezeptiv, räumlich und intuitiv“, die andere „aktiv, sprachlich orientiert und logisch“ charakterisieren. Die Gruppe deren Verarbeitungsprozess als

„rezeptiv, räumlich und intuitiv“ bezeichnet wurde, war der anderen bei der Phase des Wissenserwerbs überlegen. Die andere Gruppe hingegen zeigte eher in der Anwendung Vorteile gegenüber der ersten.

Ähnlich die Unterscheidung in der Studie von Plass, Chun, Mayer & Leutner (1998). Dabei wurden Texte auf dem Computer zum Fremdsprachenlernen angeboten. Die Lernenden wurden je nach Vorlieben für eine Präsentationsart in die Kategorien Verbalisierer oder Visualisierer getrennt. Erhielten nun die Lernenden Hinweise zu Wörtern in der von ihnen bevorzugten Art, also als Bild beziehungsweise als Text, so erreichten sie bessere Übersetzungsergebnisse als solche, die Zusatzinformationen in der von ihnen weniger geschätzten Art bekamen.

10.2.2 Visual Literacy und räumliches Vorstellungsvermögen

Ein weiterer hier kurz angesprochener Aspekt sind Fähigkeiten, die speziell für die Bildanalyse wichtig sein könnten. So ist häufig von der visual literacy die Rede. Allerdings ist dieser Begriff nicht durchgängig mit gleichem Inhalt behaftet. So stellt beispielsweise Braden (1996) in seinem Überblicksartikel fest, dass es weder für den Begriff visual literacy eine einheitliche Definition noch eine einheitliche Theorie gibt. Ein Aspekt der visual literacy sei aber das Vorhandensein einer zumindest rudimentären bildhaften Sprache, die aus einer Art Vokabular zusammengesetzt ist. Diese wird zum Verstehen von bildhaften Darstellungen benötigt.

Auch Hanson (1988) betont, dass eine Voraussetzung für höhere geistige Leistungen unter anderen folgende Fähigkeiten sind, die ebenfalls mit dem Begriff visual literacy in Zusammenhang zu bringen sind:

- das gleiche Bildelement in verschiedenen Kontexten zu erkennen
- Konturen zeichnen
- einen Gegenstand unter verschiedenen Winkeln erkennen können

- ein Element in ein anderes durch Rotation, Spiegelung oder ähnliches überführen können
- durch räumliche Darstellung verzerrte Bilder erkennen

Problematisch beim Konstrukt der visual literacy ist aber wiederum deren schon erwähnte Uneinheitlichkeit in der Verwendung.

Eine weitere nennenswerte und häufig erwähnte Form individueller Unterschiede ist das räumliche Vorstellungsvermögen. Dies ist mit den Fähigkeiten, bildhafte Darstellungen zu verarbeiten, in Zusammenhang zu bringen. Auch hier sind die Ergebnisse nicht einheitlich.

Mayer & Sims (1994) untersuchten Zusammenhänge zwischen räumlichem Vorstellungsvermögen und der Fähigkeit, Animationen mit gesprochenem Text zu einfachen mechanischen Systemen wie einer Fahrradpumpe oder dem menschlichen Atmungssystem zu erfassen. Dabei wurde einer Gruppe Animation und Text simultan und einmal hintereinander angeboten. Lernende mit gutem räumlichem Vorstellungsvermögen profitierten von der simultan angebotenen Information deutlich stärker als von der sukzessiv dargebotenen. Bei Lernenden mit geringem räumlichem Vorstellungsvermögen waren die Unterschiede hingegen nur klein. Die Autoren erklären dies damit, dass Lernende mit hohem räumlichen Vorstellungsvermögen mehr Verarbeitungskapazität zur Verfügung haben und so Verbindungen zwischen gleichzeitig gesprochenem Text und Bild herstellen können und nicht mit der Verarbeitung des Bildes allein beschäftigt sind.

10.2.3 Anstrengung

Aber auch die Einstellung zum Lernen scheint eine Rolle zu spielen. In etlichen Studien wurde deshalb versucht, die mentale Anstrengung als Faktor zu bestimmen.

Ein bereits älteres Beispiel in diesem Zusammenhang ist die Studie von Salomon (1984). Dieser verglich bei Lernenden der Sekundarstufe I die mentale Anstrengung als auch die Selbsteinschätzung bezüglich der Lernwirksamkeit beim Betrach-

ten eines Stummfilms im Vergleich zu einem Text. Dabei zeigte sich, dass Lernende, die den Film betrachteten, diesen als einfacher, realistischer und wirksamer einschätzten. Diese Lernenden brachten aber weniger mentale Anstrengung auf und kamen auch zu schlechteren Lernergebnissen als die Vergleichsgruppe mit dem Text. Dies lässt auf eine geringere Verarbeitungstiefe schließen. Aber auch im Zusammenhang mit cognitive load spielt diese mentale Anstrengung eine Rolle. So versuchten Touvinen & Sweller (1999) den „Mental Effort“ während des Lernens mit worked examples und entdeckendem Lernverfahren zu bestimmen. Diese Anstrengung war insbesondere bei der Gruppe mit schwachem Vorwissen, die entdeckend arbeitete, besonders hoch. Ob sich dieser „Mental Effort“ nun positiv auf das Ergebnis ausgewirkt hat oder eher als mentale Belastung zu bezeichnen ist, lässt sich aber nicht eindeutig beantworten.

10.3 Themenspezifisches und fachmethodisches Vorwissen

Expertise, themenspezifisches Vorwissen, fachmethodisches Vorwissen sind Begriffe, die in enger Verbindung zueinander stehen. Es ist anzunehmen, dass sie unterschiedliche Effekte je nach Aufgabenstellung haben. Diese klar getrennt zu halten, ist jedoch nicht zuletzt durch die Überlagerung sehr schwer. Oft kann nicht scharf zwischen themenspezifischem und fachmethodischem Vorwissen getrennt werden, wenn in Studien beispielsweise von Experten und Novizen die Rede ist. Deshalb wird im Folgenden häufig nur von Vorwissen die Rede sein.

Einen Überblick zum Einfluss des Vorwissens auf den Lernerfolg geben Dochy, Segers & Buehl (1999). Sie analysierten 183 Studien und konnten im Allgemeinen einen positiven Effekt des Vorwissens bezogen auf die Leistung feststellen. Negative oder keine Effekte konnten in der Regel nur festgestellt werden, wenn die Leistungsmessung mit Fehlern behaftet war. Dabei zeigen Dochy, Segers & Buehl (1999) etliche Zusammenhänge mit anderen Faktoren auf. Neben Korrelationen zwischen Vortest- und Nachtestleistungen mit einer hohen Varianzaufklärung ist überdies die Koppelung von Vorwissen mit anderen die Leistung beeinflussenden

Größen wie Intelligenz, Alter oder metakognitiven Fähigkeiten nicht zu unterschätzen.

Eine Ursache der Unterschiede in der vom Vorwissen abhängigen Leistung könnte bei komplexen Aufgabenstellungen im Bereich der Problemrepräsentation von Novizen und Experten liegen. Dies untersuchten Savelsbergh, de Jong & Ferguson-Hessler (1998). Dabei zeigten sich Unterschiede in der Struktur, im Inhalt, im dynamischen Verhalten sowie in der Flexibilität der mentalen Repräsentationen.

Während die mentalen Modelle von Novizen eher in Bruchstücke zerfallene Einzelteile und diffus sind, haben Experten zusammenhängende, aber in klare Einzelelemente gegliederte Vorstellungen. Während der Inhalt sich bei den Novizen als eher phänomenologisch oder topologisch bezeichnen lässt, sind die mentalen Modelle zu physikalischen Prozessen eher durch abstrakte Sinneinheiten und funktionale Zusammenhänge charakterisiert. Die mentalen Modelle von Novizen sind auch in ihrer Simulationsfähigkeit aufgrund von Bedingungen eingeschränkt und lassen sich eher zeitgebunden „abspielen“. Auch in der Flexibilität des Einsatzes sind mentale Modelle von Novizen durch einzelne Repräsentationen, die zudem mithin noch inkonsistent sind, gekennzeichnet. Experten verfügen hingegen über multiple und redundante Repräsentationen, die zudem konsistent sind (Savelsbergh, de Jong & Ferguson-Hessler, 1998).

Allerdings sind solche Unterschiede nicht immer ein Prädiktor für deutliche Leistungsunterschiede. Dies zeigt unter anderem die Arbeit von van Someren & Tabbers (1998), die versuchten, physikalische Inhalte mit neuen Medien zu vermitteln. Dabei sollte der Einfluss von qualitativem Vorwissen für die Einführung quantitativer physikalischer Gesetze geprüft werden. Sie stellten fest, dass qualitatives Vorwissen über die Zusammenhänge nicht unbedingt zu einem besseren Ergebnis führt, was das Aufstellen einer Gleichung betraf. Dies war beispielsweise dann der Fall, wenn durch das quantitative Vorwissen die Anzahl der möglichen Hypothesen nicht deutlich eingeschränkt wurde.

10.4 Wechselwirkung zwischen Vorwissen und Darstellungen

Wesentlich interessanter als das Vorwissen allein, dessen Wirkung größtenteils positiv eingeschätzt wird, ist die Wechselwirkung zwischen Vorwissen und der Gestaltung der Medien oder auch den aktivierenden Aufgaben und Hinweisen - kurz der Instruktion. Untersuchungen dieser Art können eine Aptitude-Treatment-Interaction aufzeigen (vgl. hierzu Cronbach & Snow, 1977).

Im Folgenden sollen eine Auswahl an Studien vorgestellt werden, die sich mit Interaktion zwischen Vorwissen und Darstellungsform im Medium befassen. Zuerst sei der Übersichtsartikel von Winn (1987) aufgeführt. Dieser fand in einem Reviewprozess speziell für logische analytische **Bilder** wie Charts, Graphen und Diagramme heraus, dass die bessere Lernende weniger Unterstützung beim Verständnis von abstrakten Darstellungen benötigen. Allerdings zeigte sich auch in etlichen Studien, dass auch die schwächeren Lernenden von solchen abstrakten Darstellungen profitierten.

Sogar der Versuch, möglichst wirklichkeitsnahe Bilder zu verwenden, ohne wirklich relevante Information zu enthalten, kann gerade Lernende mit gutem Vorwissen verwirren. So testeten Huk, Steinke & Floto (2003 b) 188 Biologiestudierende, denen sie inhaltsgleiche 2D- und 3D-Darstellungen eines Biomoleküls vorlegten. Während bei Studierenden mit geringem Vorwissen keine Unterschiede bei den beiden Darstellungen auftraten, profitierten die Studierenden mit dem hohen inhaltsspezifischen Vorwissen sogar eher von den 2D-Darstellungen. Dies führen die Autoren darauf zurück, dass die zusätzliche, aber nicht relevante Information der 3D-Darstellung gerade bei den Lernenden mit hohem Vorwissen kognitive Ressourcen gebunden hat.

Generell ist aber festzustellen, dass Bilder unter bestimmten Voraussetzungen in **Text-Bild-Kombinationen** eher für Lernende mit geringerem Vorwissen lernförderlich sind. Mayer & Gallini (1990) konnten in drei Experimenten zur Funktionsweise von Geräten Unterschiede beim Einsatz von Bildern mit Interpretationsfunk-

tion in Ergänzung zu einem Erklärtext feststellen. Dabei zeigte sich bei Lernenden mit geringem themenspezifischen Vorwissen, dass eine erklärende Bebilderung das Problemlösen fördert. Bei den Lernenden mit hohem themenspezifischem Vorwissen ergaben sich keine deutlichen Unterschiede zwischen den Gruppen. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch Schnotz & Bannert (2003). Diese sehen insbesondere den Einsatz von Bildern in Text-Bild-Kombinationen dort gegeben, wo Bilder den Text in einer aufgabenbezogenen Weise optimal unterstützen. Auch hier waren Bilder insbesondere für Lernende mit geringem Vorwissen nützlich. Dies bedeutet aber keinesfalls, dass die angemessene Gestaltung für Lernende mit gutem Vorwissen gleichgültig ist. Vielmehr kann bei Lernenden mit gutem Vorwissen die Bildung eines mentalen Modells aus dem Text durch ein ungeeignetes Bild nach Ansicht der Autoren sogar behindert werden. Diese Aussage deckt sich mit der bereits angesprochenen Untersuchung von Huk, Steinke & Floto (2003 b).

Aber auch umgekehrt ist Text für die Bilderkennung nicht immer und für alle Lernenden hilfreich. So stellten Kalyuga, Chandler & Sweller (1997) fest, dass für Lernende mit geringer Expertise in einem Wissensgebiet zu Bildern erklärender Text hilfreich sein kann, während Lernende mit höherer Expertise durch die Redundanz des Erklärtextes eine unnötige, nicht lernförderliche Belastung mentaler Ressourcen erfuhren und so eher am Lernen gehindert wurden.

Andere Aspekte wie die räumliche Nähe von Bildern zum Text scheinen hingegen eher bei Lernenden mit geringem Vorwissen zum Tragen zu kommen. So sieht Mayer (1997), dass dieser Effekt insbesondere für Lernende mit geringem Vorwissen relevant ist.

Auch im Zusammenhang mit Text-Bild-Kombinationen scheinen Unterschiede in deren Verarbeitung mit unterschiedlich guten internen Repräsentationen zusammenzuhängen. So untersuchten Hegarty & Just (1993) die Augenbewegungen von Lernenden bei Aufgaben, die Bild-Text-Kombinationen von Flaschenzügen zum Inhalt hatten. Dabei vermuten sie, dass immer wieder individuell Textabschnitte gelesen wurden, um davon ein mentales Modell zu erstellen, dass sie unter Zuhil-

fenahme der Zeichnung konstruierten. Es wurden nämlich immer wieder Einzel-elemente in Beziehung gesetzt, aber oft auch das gesamte Bild in Betracht gezogen. Insbesondere Unterschiede in der Häufigkeit, wie oft im Text zurückgesprungen wurde, um ihn nochmals zu lesen, unterschieden sich Lernende mit hohen und niedrigen Vorwissen in der Mechanik. Lernende mit hohen Kompetenzen mussten wesentlich weniger häufig Passagen mehrfach lesen, bevor sie bestimmten Gruppierungen im Bild zugeordnet werden konnten. Überdies hingen die Anzahl der Rückschritte sehr stark von der Komplexität der Aufgabe ab.

Aber nicht nur in der Art, wie effizient Information aus solchen Text-Bild-Kombinationen entnommen werden kann, unterscheiden sich Novizen von Experten. Heiser & Tversky (2002) fanden in einer empirischen Studie ebenfalls zum Themengebiet Mechanik heraus, dass Lernende jedes Vorwissens essentielle Teile bei Text-Bild-Kombinationen aus Funktionszeichnungen herauslesen konnten. Allerdings konnten Lernende mit geringerem Vorwissen keine Schlüsse über das hinaus ziehen, was nicht explizit im Diagramm dargestellt war.

Gerade auch bei **Animationen und Simulationen** scheinen Unterschiede bezüglich des Vorwissens wichtig zu sein. So resümieren Schnotz, Seufert & Bannert (2000) bezüglich etlicher Untersuchungen zu Animationen, dass bei Lernenden mit schlechteren Lernvoraussetzungen Animationen eher helfen, bestimmte Prozesse zu vollziehen, während Lernende mit höheren Lernvoraussetzungen durch Animationen von lernförderlichen Aktivitäten abgehalten werden.

Allerdings ist dies auch bezüglich der Funktion der jeweiligen Animation zu sehen. Bei einer empirischen Untersuchung bezüglich der Funktionen der Befähigung beziehungsweise der Erleichterung konnte Schnotz (2002) Unterschiede bei Lernenden unterschiedlichen Vorwissens feststellen. Während bei Lernenden mit hohem Vorwissen eher die Funktion der Befähigung bei manipulierbaren Animationen (Simulationen) eintritt, ist bei Lernenden mit niedrigem Vorwissen eher die Funktion der Erleichterung bei nicht zu beeinflussenden Animationen zu erkennen. Dabei stellt er fest, dass die Erleichterungsfunktion nicht unbedingt lernförderlich ist, da

Lernende dadurch abgehalten werden, selbst relevante kognitive Prozesse durchzuführen.

Bezüglich **multipler Repräsentationen** erkennt Kozma (2003) Unterschiede, wie diese von Lernenden und Experten verwendet werden. Experten zeichnen sich durch den sicheren Umgang mit multiplen Repräsentationen auf der Grundlage von Prinzipien aus. Dabei nutzen sie je nach Bedarf Repräsentationen einzeln oder zusammen, um ein Verständnis von Strukturen und Prozessen zu erreichen. Dagegen haben Novizen häufig Schwierigkeiten im Umgang mit Darstellungen und verhaften an ihren Oberflächeneigenschaften. Sie haben Probleme, Zusammenhänge zwischen den Darstellungen und der Wirklichkeit, aber auch zwischen den einzelnen Darstellungen untereinander zu erkennen. Diese Schwierigkeiten, zwischen den einzelnen Darstellungen einer multiplen Repräsentation Zusammenhänge zu schaffen, sieht auch Seufert (2003). Dazu schlägt sie vor, Hilfen anzubieten, die diese Kohärenzbildung fördern. Eine Untersuchung hierzu gibt aber Anlass zur Vermutung, dass die Wirksamkeit der Unterstützung auch vom spezifischen Vorwissen abhängt. So konnten Lernende mit nur sehr geringem Vorwissen überhaupt nicht von den Hilfen profitieren, wobei Lernende insbesondere von Vorwissen mittleren Niveaus am meisten von der Hilfe profitierten. In einer späteren Untersuchung (Seufert & Brünken, 2004) ergaben sich ähnliche Resultate, wobei dort die Lernenden mit hohem Vorwissen sogar ohne Hilfe besser abschnitten als mit Hilfe.

Zusammenfassend kann vermutet werden, dass zwar bildhafte Darstellungen gerade Lernenden mit weniger gutem Vorwissen entgegen kommen, so lange sie nicht zu komplex werden. Dabei ist aber noch nichts über die Qualität des erreichten Lernerfolgs ausgesagt. Generell lässt sich aber sagen: Je abstrakter und komplexer Darstellungen werden, desto größer erweisen sich die Unterschiede zwischen Lernenden mit gutem und weniger gutem Vorwissen. Zudem stellt sich die Frage der Interaktion mit instruktionalen Angeboten.

10.5 Wechselwirkung zwischen Vorwissen und Instruktion

Neben den bereits angesprochenen Untersuchungen von Seufert (2003) sowie Seufert & Brünken (2004) sind hierzu vor allem die Arbeiten von Kalyuga, Chandler & Sweller (1997) sowie Touvinen & Sweller (1999) zu nennen. Dabei wird jeweils eine Interaktion zwischen der Expertise der Lernenden und der Instruktionsmethode festgestellt.

So konnten Kalyuga, Chandler & Sweller (1997) in einem Versuch zeigen, dass es eine Interaktion zwischen der Expertise der Lernenden in einem Wissensgebiet und der verwendeten Instruktionsmethode gibt. Dabei verwendeten sie unter anderem Boole'sche Schaltungen und Funktionszusammenhänge von Durchmesser und Kreisumfang als Themengebiete. Dabei zeigte sich, dass insbesondere bei komplexen Fragestellungen, Interaktionseffekte zwischen Lehrmethode und Vorwissen auftraten. So profitierten schwächere Lernende eher von worked examples als von entdeckender Unterrichtsmethodik. Hingegen konnten sich erfahrene Lernende eher Lösungen zu komplexen Problemstellungen erarbeiten, wenn sie mit explorativem Lernverfahren und nur unter leichter Führung arbeiten konnten. Daraus ziehen die Autoren den Schluss, beim Lernen zuerst mit worked examples die Basis zu legen, um dann auf einer höheren Stufe der Expertise zu explorativem Lernen überzugehen.

Auch Touvinen & Sweller (1999) vergleichen entdeckendes Lernverfahren mit worked examples bezüglich des Lernerfolgs. Dafür wurde das Erlernen eines Systems zur Datenverwaltung als Inhalt gewählt. Es zeigte sich, dass Lernende ohne jedes Vorwissen eher von den vorgegebenen Musteraufgaben profitierten, aber Lernende, die bereits Vorwissen in einem Themengebiet erworben hatten, durchaus auch mit dem explorativen Arbeiten vergleichbare Ergebnisse erzielten wie die Gruppe mit den worked examples.

Zu diesem Bereich beschreiben Kalyuga, Ayres, Chandler & Sweller (2003) in einem Artikel den expertise reversal effect. So ist festzustellen, dass sich eine für un-

erfahrene Lerner geeignete unterstützende Maßnahme für erfahrene Lerner ins Gegenteil verkehrt und sogar negative Konsequenzen bezüglich des Lernerfolgs haben kann. Dieser Effekt basiert darauf, dass die Unterstützung, die ursprünglich für den Aufbau von Wissen hilfreich war, mit bereits aufgebautem und tragfähigen Wissen interferieren kann. So kommt es zu einer unnötigen Belastung des Arbeitsgedächtnisses, um diese an sich redundante Information mit dem Vorwissen in Einklang zu bringen. Dies gilt vor allem für methodische Überlegungen wie das Anbieten von worked examples oder auch das Sequenzieren von Information, wie es beispielsweise Pollock, Chandler & Sweller (2002) beschreiben. Aber auch Unterschiede in der Lernwirksamkeit von Text-Bild-Kombination, die vom Grad des Vorwissens abhängen, lassen sich hiermit erklären.

Das Kapitel zusammenfassend kann gesagt werden, dass unterschiedliche Lernvoraussetzungen den Lernerfolg bei der Arbeit mit neuen Medien mitbestimmen. Dabei hat Vorwissen im Allgemeinen einen positiven Effekt auf die Lernergebnisse. Allerdings sollte sowohl das mediale Lernangebot auf das jeweilige Vorwissen angepasst sein als auch die Formate der unterstützenden instruktionalen Maßnahmen. Dabei zeichnet sich ab, dass sich unterstützende Maßnahmen, die für Lernende mit geringem Vorwissen geeignet sind, für Lernende mit besserem Vorwissen ins Gegenteil verkehren können.

11 Zentrale Fragen und Aufbau der Studie

Aus den bisherigen theoretischen Überlegungen soll an dieser Stelle ein Wirkungsgefüge herausgearbeitet werden, das auch empirische Zugänglichkeit zu bestimmten Fragestellungen ermöglicht (siehe Abb. 44).

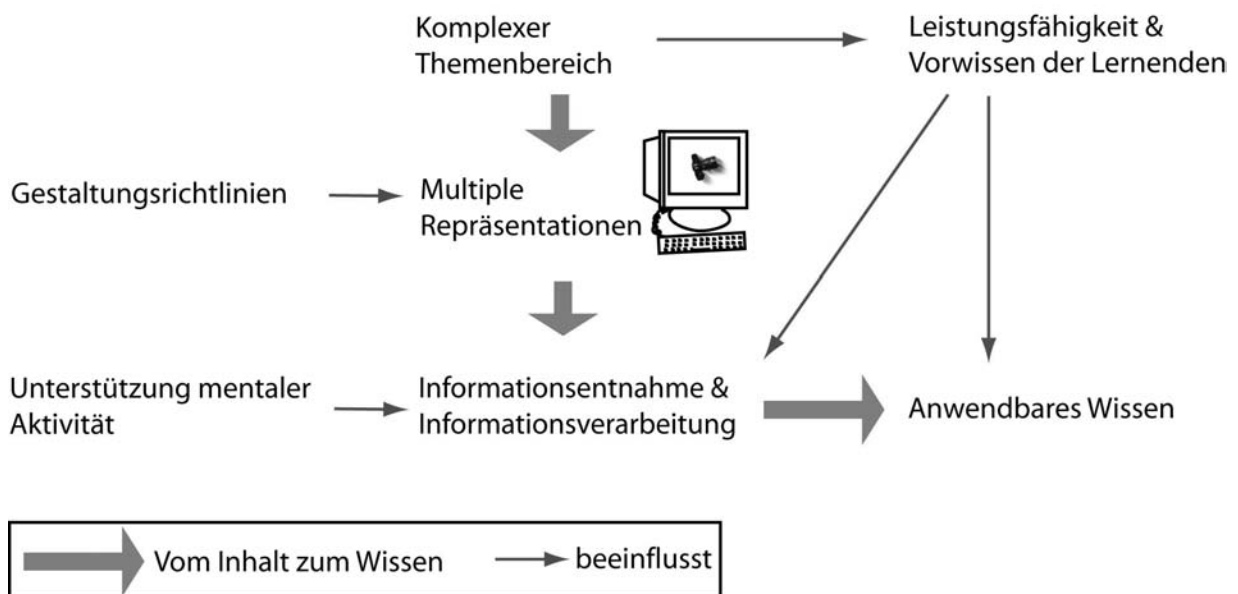


Abb. 44: Darstellung des Wirkungsgefüges

Die komplexen Inhalte der beiden Lernumgebungen „Leben im Winter“ und „virtuelle Kamera“ wurden nach den angesprochenen kognitionspsychologischen und mediendidaktischen Gesichtspunkten gestaltet, wobei insbesondere auf die Darstellung der Inhalte in multiplen Repräsentationen Wert gelegt wurde. Die Informationsentnahme und Verarbeitung durch die Lernenden soll neben Interaktivität vor allem durch zusätzliche Arbeitshefte gewährleistet werden. Dabei wird die Informationsentnahme und Verarbeitung durch personenbezogene Faktoren - etwa methodisches und themenspezifisches Vorwissen - bestimmt. Demzufolge hängt in diesem stark vereinfachten Modell der Aufbau des gewünschten Wissens von der Gestaltung der Darstellungsformen, der Unterstützung außerhalb des Mediums und

den Vorbedingungen der Lernenden ab. Dabei spielen auch Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Faktoren eine Rolle. Hierauf bauen das Gesamtdesign der Arbeit und deren zentrale Fragen auf:

- Wie kommen Lernende der Mittelstufe mit der Multicodierung von Inhalten zurecht und welche Lernerfolge können erreicht werden?
- Wie ist eine Unterstützung durch Arbeitshefte beim Lernen zu gestalten, und wie lernen Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen?

Dabei sollten zum einen beide Lernumgebungen bezüglich der Lernwirksamkeit evaluiert werden und zum anderen die genannten Fragestellungen bearbeitet werden.

Mit der ersten Studie „Evaluation des multimedialen Lernangebots Leben im Winter“ sollten neben der Lernwirksamkeit vor allem einige generelle Einflussfaktoren bestimmt und betrachtet werden, auf welche Weise Lernen mit multiplen Repräsentationen in Klassenstufe 9 überhaupt möglich ist.

In der zweiten Studie „Evaluation des multimedialen Lernangebots virtuelle Kamera“ sollten neben der Lernwirksamkeit dieser Software vor allem die Wechselwirkungen der einzelnen Einflussfaktoren untersucht werden; außerdem sollte geklärt werden, wie die Informationsentnahme aus verschiedenen Einzeldarstellungen und deren Verknüpfung gelingt.

Eine Präzisierung der Forschungsfragen findet sich in den jeweiligen Kapiteln zu den beiden Studien, die sich diesem Kapitel anschließen.

12 Evaluation des Lernangebots „Leben im Winter“

Das folgende Kapitel enthält wesentliche Teile der Veröffentlichung Rubitzko & Girwidz (2004) beziehungsweise der eingereichten Veröffentlichung Girwidz, Bogner, Rubitzko & Schaal (unter Reviewprozess b), die um einige Teile ergänzt und neu gegliedert wurden. Die Veröffentlichung Rubitzko & Girwidz (2004) findet sich im Anhang.

Nach den konkreten Fragestellungen werden das Studiendesign und der Ablauf des Treatments beschrieben. Die Operationalisierung der Messgrößen mit Beispielen der Frage- und Arbeitsbögen schließen sich an. Nach einer kurzen Erörterung der verwendeten statistischen Verfahren werden die Ergebnisse genannt und diskutiert.

12.1 Fragestellungen

Die folgenden, oben abgeleiteten Forschungsfragen werden bei der Diskussion der Ergebnisse erneut aufgegriffen:

- In welchem Umfang und in welchen Themengebieten ist ein Lernen mit der von Arbeitsheften unterstützten Lernumgebung möglich?
- Aus welchen Darstellungsformen und in welchem Umfang sind die Lernenden in der Lage, Information zu entnehmen, um damit Aufgaben zu lösen?
- Wie gut können Informationen aus mehreren Darstellungsformen verknüpft werden?
- Wie wirken sich themenspezifisches Vorwissen, fachmethodisches Vorwissen und die Qualität im Arbeitsprozess auf das Lernergebnis aus?
- Gibt es einen Interaktionseffekt zwischen fachmethodischem Vorwissen und der Qualität im Arbeitsprozess, der sich auf den Lernerfolg auswirkt?

12.2 Studiendesign

Der Unterrichtsversuch zur hypermedialen Lernumgebung „Leben im Winter“ fand in fünf neunten Klassen an zwei Realschulen des mittleren Neckarraums statt. Ohne Fehltag und mit vollständigem Datensatz konnten 72 Jungen und 44 Mädchen ($N = 116$) in die Auswertung der Studie einbezogen werden. Die Lernenden arbeiteten an drei Tagen insgesamt sechs Unterrichtsstunden lang stets zu zweit gemeinsam an einem Notebook.

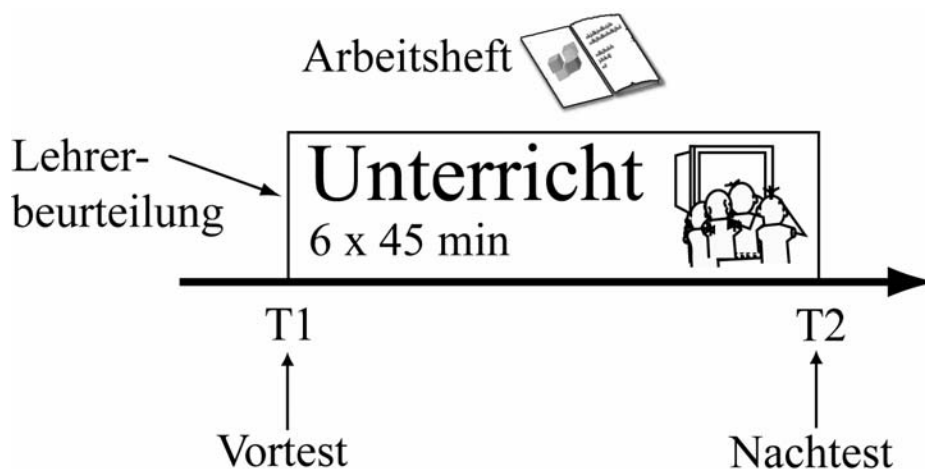


Abb. 45: Zeitlicher Verlauf der Studie

Vor, während und nach dem eigentlichen Unterricht wurden Einflussfaktoren und Ergebnisse des Lernprozesses mit verschiedenen Messinstrumenten erfasst (siehe Abb. 45).

Die Lehrerbeurteilung diente zum Erfassen der fachmethodischen Leistungsfähigkeit in den Naturwissenschaften. Diese Werte wurden im Vorfeld der Studie erhoben.

Der Vortest (T1) erfasste mittels Fragebogen das themenspezifische Vorwissen. Dies geschah einen Tag vor dem eigentlichen Unterrichtsbeginn.

Das Arbeitsheft gab Aufschluss darüber, ob und wie die Informationsentnahme aus den einzelnen Darstellungen gelang und wie die Qualität und Intensität des Arbeitsprozesses war. Der Arbeitsbogen begleitete den gesamten Lernprozess.

Der Nachtest (T2) erfasste mittels Fragebogen das Wissen am Tag nach dem eigentlichen Unterricht.

12.3 Ablauf des Treatments

In der Stunde vor dem eigentlichen Unterrichtsbeginn erfolgte der Vortest. Im direkten Anschluss wurden die Lerngruppen über den genauen Ablauf und die Unterrichtsbedingungen informiert. Diese entsprachen den normalen Rahmenbedingungen in den jeweiligen Schulen. Eine kurze Einführung zum Umgang mit den Notebooks und den Kopfhörern schloss sich an.

Während des eigentlichen Unterrichts arbeiteten die Lernenden stets zu zweit an einem Notebook. Sie wurden von den bereits erwähnten Arbeitsheften angeleitet, Informationen aus dem Programm mit den verschiedenen Inhaltsrepräsentationen zu entnehmen, diese zu verarbeiten und in den jeweiligen Aufgaben angemessen zu verwenden. Sowohl die Arbeitsgeschwindigkeit als auch die Reihenfolge, in der die Aufgaben durchgearbeitet wurden, blieben den Lernenden selbst überlassen. Das gilt damit ebenfalls für die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Seiten der Lernumgebung aufgerufen wurden. Unterstützung von Seiten der am Unterrichtsversuch beteiligten Kollegen wurde nur bezüglich technischer Probleme gewährt. Schwierigkeiten inhaltlicher Art sollten in Partnerarbeit mit Hilfe der angebotenen Medien gelöst werden. Nach vier Stunden war das erste Team mit seinen Aufgaben fertig und hatte die Lernumgebung vollständig durchgearbeitet. Am Ende der sechsten Stunde des Treatments hatten alle Teams ihre Arbeitshefte durchgearbeitet.

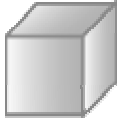
Am Tag danach erfolgte der Nachtest, der ohne Zeitbegrenzung in 35 Minuten von allen Schülerinnen und Schülern beendet wurde.

12.4 Operationalisierung der Messgrößen

12.4.1 Themenspezifisches Vorwissen und Wissen nach dem Unterricht

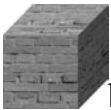
Um das themenspezifische Vorwissen und das Lernergebnis nach dem Test zu messen, wurden die gleichen Aufgaben verwendet. Der Fragebogen befindet sich im Anhang. Die Aufgaben hierzu waren - vergleichbar mit einer Klassenarbeit - aus mehreren Formaten zusammengesetzt. Neben geschlossenen Multiple-Choice-Items siehe (Abb. 46) kamen auch einige offenere Frageformate zum Einsatz (siehe Abb. 47). Im Ganzen waren insgesamt 36 Punkte zu erreichen. Dabei wurde jede der Aufgaben entweder den Fachgebieten Biologie und Physik zugeordnet oder als fächerübergreifend eingestuft, wenn Inhalte aus beiden Disziplinen miteinander verknüpft werden mussten. In den so entstandenen Subskalen konnten jeweils 12 Punkte erreicht werden.

6) Ordne zwei der Materialien je einem Graphen zu, indem du die Kennziffer in das Kästchen einträgst!



a) Wärmeleitfähigkeit

von Glas: $0,8 \frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s}}$



b) Wärmeleitfähigkeit

von Ziegelstein: $0,5 \frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s}}$



c) Wärmeleitfähigkeit

von Granit: $2 \frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s}}$

Im Graph wurde die Energiemenge aufgetragen, die pro Sekunde durch eine Fläche von 1 m^2 mit einer Schichtdicke von 1 m fließt.

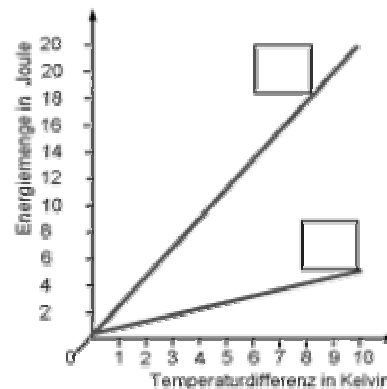


Abb. 46: Item im Multiple-Choice-Format zu physikspezifischem Inhalt

28) Bei welchem der beiden Tiere werden mit einer Infrarot-Kamera die Kontraste deutlicher, wenn beide im Schnee stehen: Bei einem Eisbär oder bei einem Dobermann? Begründe.



☐ Bei dem Eisbär, weil



☐ Bei dem Dobermann, weil

Abb. 47: Item in halboffenem Fragenformat zu fächerübergreifendem Inhalt

12.4.2 Lernzuwachs

Die Differenz zwischen Vortest und Nachtest wurde als Lernzuwachs definiert und misst so eine Veränderung bestehender Wissensstrukturen.

12.4.3 Fachmethodische Leistungsfähigkeit

Die fachmethodische Leistungsfähigkeit in den Naturwissenschaften wurde nicht mit den Noten erfasst. Gerade die Abschlussnoten der achten Klasse, die durch Krisen der Pubertät mitbestimmt sein können, geben am Ende der neunten Klasse nicht mehr präzise Auskunft über das Leistungsvermögen der Lernenden. Deshalb diente eine aktuelle Einschätzung der Lehrenden zur Feststellung der fachmethodischen Leistungsfähigkeit in den Naturwissenschaften. Die Lehrkräfte aus Biologie und Physik bewerteten die in diesem Schulhalbjahr erbrachte diesbezügliche mündliche und schriftliche Leistung mit ganzen Zahlen von 1 bis 5.

12.4.4 Qualität und Intensität des Arbeitsprozesses

Mit dem Arbeitsheft selbst sollte die Qualität und Intensität des Arbeitsprozesses analysiert werden. Dabei wurden nur eindeutig zu beantwortende Fragen in die Auswertung mit aufgenommen. Beispiele aus dem Themenbereich Physik sind beispielsweise in den Abbildungen 37-41 zu sehen. Im physikalischen Fragenbereich (dazu findet sich das Arbeitsheft im Anhang) gab es bei vollständig richtiger Lösung einen Punkt, bei Teillösungen anteilig weniger.

12.5 Statistische Verfahren

Um die Forschungsfragen zu klären, waren mehrere statistische Verfahren notwendig. Bei allen inferenzstatistischen Tests (zweiseitig) wurde ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ festgelegt. Die Datenaufbereitung und Analyse erfolgte mit SPSS 11. Grafiken wurden teilweise mit Excel erstellt.

12.5.1 Lernzuwachs

Der Umfang des Lernzuwachses und die Differenzierung in verschiedene Themenbereiche sollte einerseits über die deskriptiven Maße des Mittelwerts und der jeweiligen Standardabweichung bei Vor- und Nachtest aufgezeigt werden. Darüber hinaus sollte aber auch über eine grafische Auftragung der Häufigkeit der erreichten Punktzahlen einen Eindruck von der Leistungsverteilung geben.

Ein zusätzlicher inferenzstatistischer Mittelwertsvergleich bezüglich der gepaarten Stichproben von Nachtest und Vortest sollte in allen Subskalen klären, wie wahrscheinlich sich die Nachtest-Vortest-Differenz auch in der Population nicht von Null unterscheidet (zu t-Tests für abhängige Stichproben vergleiche beispielsweise Bortz, 1999, S. 140-142). Auf die Voraussetzungen der Normalverteilung lässt sich mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test prüfen (vgl. hierzu beispielsweise Zöfel, 2002).

12.5.2 Darstellungsformen

Um herauszufinden, aus welchen Darstellungsformen und in welchem Umfang die Lernenden in der Lage sind, Information zu entnehmen, um damit Aufgaben zu lösen, bietet sich das Maß der Aufgabenschwierigkeit an. Dazu wurde für alle Items des Themengebietes Physik aus dem Arbeitsheft (siehe Anhang) ein Schwierigkeitsindex bestimmt. Für die Berechnung eines solchen Schwierigkeitsindexes in Prozentwerten bei Items mit Stufenantworten schlägt beispielsweise Zöfel (2002, S. 241- 242) folgende Formel vor:“

$$(\text{Gl. 9}) \quad P_j = \frac{\bar{x}_j - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \cdot 100 \quad j=1, \dots, m$$

Dabei sind die \bar{x}_j die Mittelwerte der m Items über die n Probanden x_{\min} und x_{\max} bezeichnen die kleinste beziehungsweise größte Item-Codierung.“

Angelehnt daran ergibt sich bei den hier ausgewählten Items mit jeweils einem Maximalwert $x_{\max} = 1$ und einem Minimalwert $x_{\min} = 0$ der Mittelwert des Items über die n Probanden als Itemschwierigkeit des Einzelitems. Diese lassen sich dann vergleichen. So kann ein Eindruck gewonnen werden, wie Informationen aus unterschiedlichen Darstellungsformen zum Arbeiten verwendet wurden.

12.5.3 Themenspezifisches Vorwissen, fachmethodische Leistungsfähigkeit und Arbeitsprozess

Um den Einfluss der fachmethodischen Leistungsfähigkeit und der Qualität des Arbeitsprozess auf den Lernerfolg abschätzen zu können, bot sich ein varianzanalytisches Verfahren an. Dabei bestand das Problem darin, in wie weit das Vortestergebnis schon den Lernerfolg mitbestimmt. Mit der Kovarianzanalyse kann der Einfluss einer Kontrollvariablen aber aufgehoben werden (vgl. hierzu Bortz, 1999, S. 350). Als Kovariate wurde deshalb das Vortestergebnis behandelt. Zudem wurden als feste Faktoren die Qualität und Intensität des Arbeitsprozesses sowie das fachmethodische Vorwissen in den Naturwissenschaften verwendet. Dabei sollten jeweils zwei Faktorstufen gebildet werden. Dazu wurden die Versuchspersonen mittels Mediansplit jeweils in zwei Gruppen geteilt, nämlich in Qualität+, die in der Summe ihres Arbeitsheftergebnisses besser als der Median waren, und in Qualität-, wenn sie nicht besser als der Median waren. Auch bezüglich der fachmethodischen Leistungsfähigkeit in den Naturwissenschaften wurde dieses Verfahren durchgeführt. Personen, die besser als der Median waren, wurden der Gruppe Leistung+ zugeordnet. Personen, die nicht besser als der Median waren, wurden der Gruppe Leistung- zugeordnet.

Bortz (1999) nennt die Varianzgleichheit und die Normalverteilung als Voraussetzungen für varianzanalytische Verfahren. Dies gilt auch für die Kovarianzanalyse. Deshalb wurde mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test auf signifikante Abweichung von der Normalverteilung in den Untergruppen getestet. Auf Varianzgleichheit wurde nicht geprüft, da die Varianzanalyse bei gleich großen Stichproben als robust gegenüber Verletzungen der Voraussetzungen gilt (Bortz, 1999).

12.6 Ergebnisse

12.6.1 Umfang des Lernerfolgs

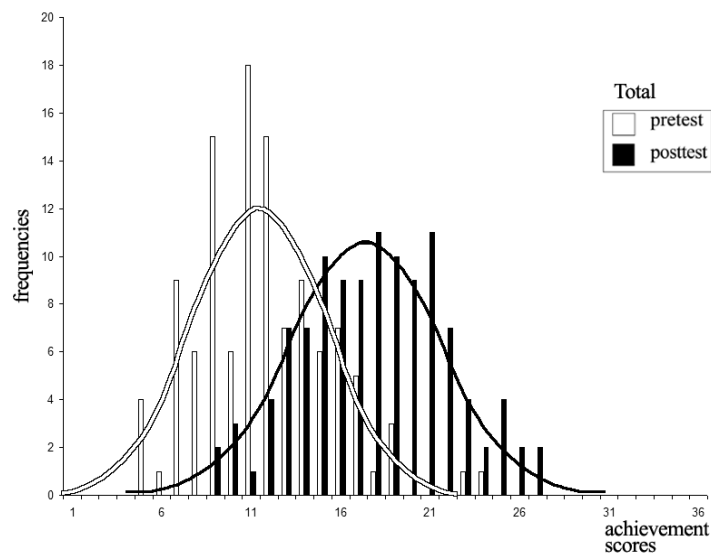


Abb. 48: Häufigkeit der erreichten Punkte in Vortest und Nachtest

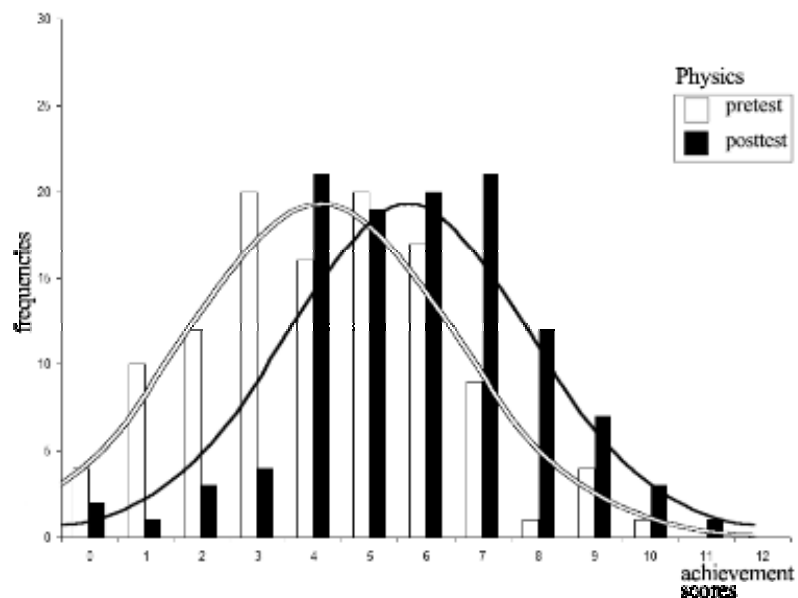


Abb. 49: Häufigkeit der erreichten Punkte im Vor- und Nachtest Subskala Physik

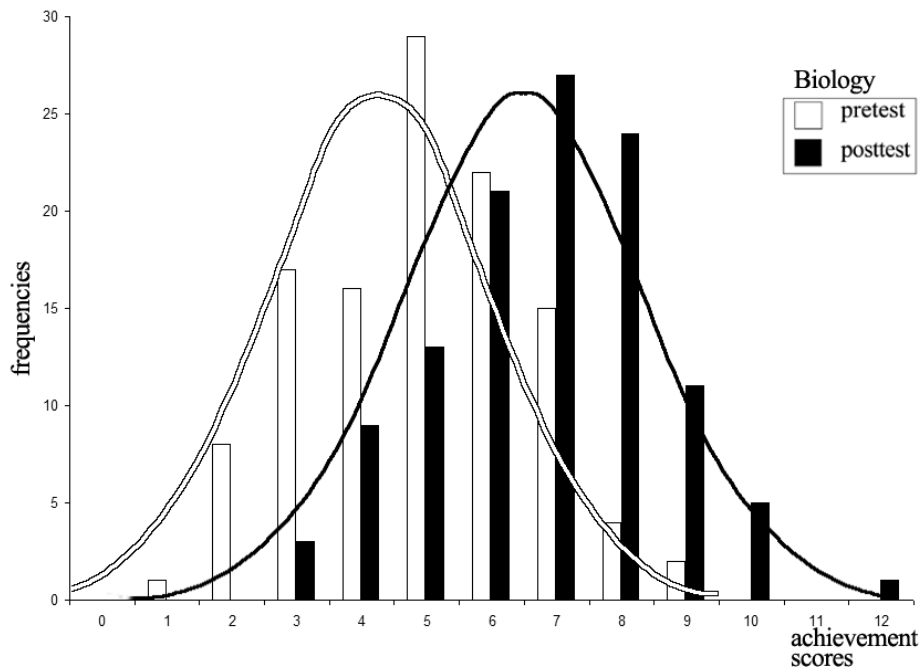


Abb. 50: Häufigkeit der erreichten Punkte im Vor- und Nachtest Subskala Biologie

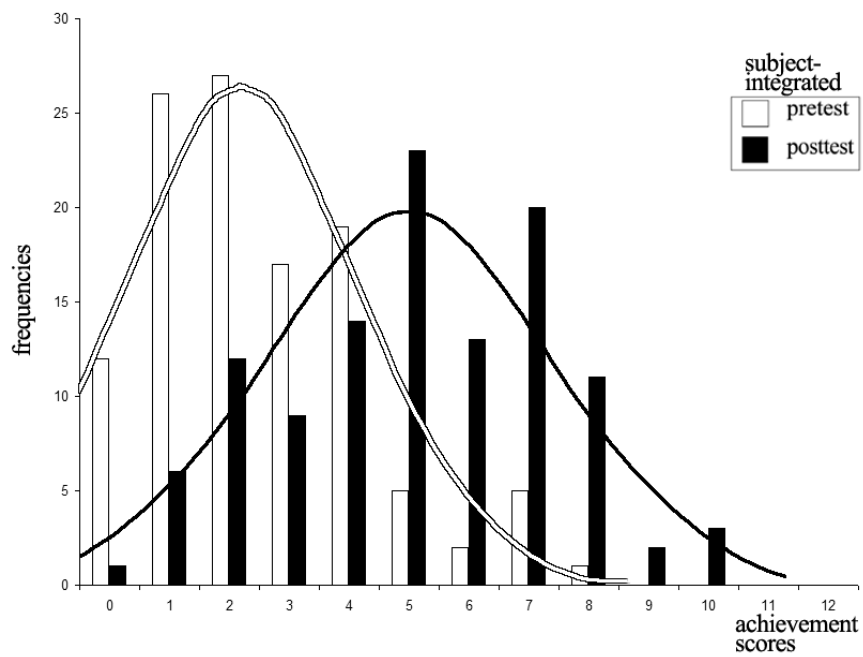


Abb. 51: Häufigkeit der erreichten Punkte im Vor- und Nachtest Subskala fächerübergreifende Informationen

Die Grafiken (Abb. 48 -51) geben Aufschluss über die Verteilung der Gesamtskala und der einzelnen Subskalen. Auf den ersten Blick zeigt sich ein Lernzuwachs. Die überlagerte Kurve einer Normalverteilung gibt einen ersten Anhaltspunkt, inwieweit die einzelnen Ergebnisse bei den Subskalen von der Normalverteilung abweichen.

Eine Überprüfung der Gesamtergebnisse von Vor- und Nachtest und aller Subskalen mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test ergab ausschließlich eine signifikante Abweichung von der Normalverteilung bei den Vortest- und Nachtestergebnissen der Subskala Biologie und der Subskala Integrierte Items. Deshalb wurde dort zusätzlich ein nicht parametrischer Test durchgeführt.

$N = 116$	Gesamttest (max. = 36)		Physik (max. = 12)		Biologie (max. = 12)		Fächerübergreifend (max. = 12)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Vortests	11,7	3,6	4,2	2,2	5,0	1,7	2,6	1,8
Nachtest	17,9	4,1	5,9	2,1	6,8	1,7	5,2	2,2
Differenz	6,2	4	1,7	2,2	1,9	2,0	2,6	2,6
T-Wert	16,7		8,5		10,1		10,7	
Signifikanz (2-seitig)	< 0,001		< 0,001		< 0,001		< 0,001	

Tab. 1: Ergebnisse des Vortest-Nachtest-Vergleichs bezüglich aller Subskalen

Der Vortest-Nachtestvergleich (Tab. 1) ergab sowohl als Gesamttest ($T = 16,7$; $p < 0,001$) als auch bei allen Subskalen, nämlich Physik ($T = 16,7$; $p < 0,001$), Biologie ($T = 16,7$; $p < 0,001$) und fächerübergreifenden Inhalten ($T = 16,7$; $p < 0,001$) höchstsignifikanten Zuwachs. Dabei umfasst der Zuwachs im Gesamttest etwa anderthalb Standardabweichungen. Die Zuwächse bei den Subskalen sind annähernd gleich und belaufen sich in etwa auf eine Standardabweichung. Auch der zusätzlich durchgeführte Wilcoxon-Test bei den Subskalen Biologie (12 negative Ränge, 89 positive Ränge und 15 Bindungen) und auch bei den integrierten Inhalten (14 nega-

tive Ränge, 93 positive Ränge und 9 Bindungen) ergab ebenfalls höchst signifikante Ergebnisse ($p < 0,001$).

12.6.2 Umgang mit Repräsentationen

Item	Inhalt	Darstellungsformen im Mediums	Schwierigkeit
6	Bildzuordnung zur Konvektion	Animation & Film	0,93
7	Lückentext zur Emission	Text	0,91
10	Bestimmung von Wärmeströmen	Animation	0,91
9	Konzepte zur Strahlung	Text	0,82
5	Lückentext zur Konvektion	Text	0,78
11	Bestimmung von Wärmeströmen	Simulation	0,76
12	Wärmestrom & Temperaturdifferenz	Simulation	0,72
14	Berechnung eines Wärmestroms	Text & Tabelle	0,66
15	Proportionalitäten beim Wärmestrom	Text & Tabelle	0,66
16	Wärmestrom & Temperaturdifferenz	Text & Tabelle	0,55
18	Interpretation einer Infografik	Infografik & Text	0,49
20	Vergleich von Wärmeleitwerten	Diagramm & Simulation	0,20
19	Vergleich von Wärmeleitwerten	Diagramm & Text	0,13
8	Energiebilanz der Atmosphäre	Infografik & Text	0,11
	Summenwert Arbeitsbogen Physik		8,64

Tab. 2: Lösungswahrscheinlichkeit von Aufgaben des Arbeitsheftes

Die einzelnen Aufgaben wurden mit dem Schwierigkeitsindex in Tabelle 2 abgebildet. Dabei beträgt der Mittelwert 8,64 von 14 möglichen Punkten. Im Mittel wurde also der Arbeitsbogen im Themenbereich Physik zu nahezu zwei Drittel richtig ausgefüllt. Auffallend war dabei, dass geringe Werte ausschließlich dann zu verzeichnen sind, wenn mehr als eine Darstellungsform beteiligt ist.

12.6.3 Themenspezifisches Vorwissen, Arbeitsprozess, methodische Leistungsfähigkeit und deren Wechselwirkung

Mit dem varianzanalytischen Verfahren der Kovarianzanalyse wurden folgende drei Hypothesen überprüft:

- 1) Die fachmethodische Leistungsfähigkeit in den Naturwissenschaften hat einen positiven Einfluss auf den Lernerfolg.
- 2) Die Qualität und Intensität des Arbeitsprozesses ist ein relevanter Faktor für den späteren Lernerfolg.
- 3) Es gibt einen Interferenzeffekt zwischen fachmethodischer Leistungsfähigkeit in den Naturwissenschaften und Qualität des Arbeitsprozesses bezüglich des Lernzuwachses.

Dabei wurde der Lernzuwachs als abhängige Variable in der Kovarianzanalyse behandelt.

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	Freiheitsgrade	F-Wert	Signifikanz
Korrigiertes Modell	500,5	4	10,4	< 0,001
Konstanter Term	1545,5	1	128,0	< 0,001
Vortestergebnis	469,9	1	38,9	< 0,001
Qualität	51,4	1	4,3	,041
Leistung	104,5	1	8,7	,004
Leistung X Qualität	12,9	1	1,1	,303
Gesamt	6297	116		

R-Quadrat = ,27 (korrigiertes R-Quadrat = ,25)

Tab. 3: Ergebnisse der Kovarianzanalyse

Die Statistik (Tab. 3) zeigt zwei Haupteffekte, nämlich die fachmethodische naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit ($p < .005$) sowie die Qualität und Intensität des Arbeitsprozesses als weitere relevante Größe ($p < .05$). Das Interaktionsdia-

gramm zeigt, dass die Zusammenhänge erwartungsgemäß sind. Damit konnten mit den Daten die beiden ersten Hypothesen unterstützt werden (Abb. 52).

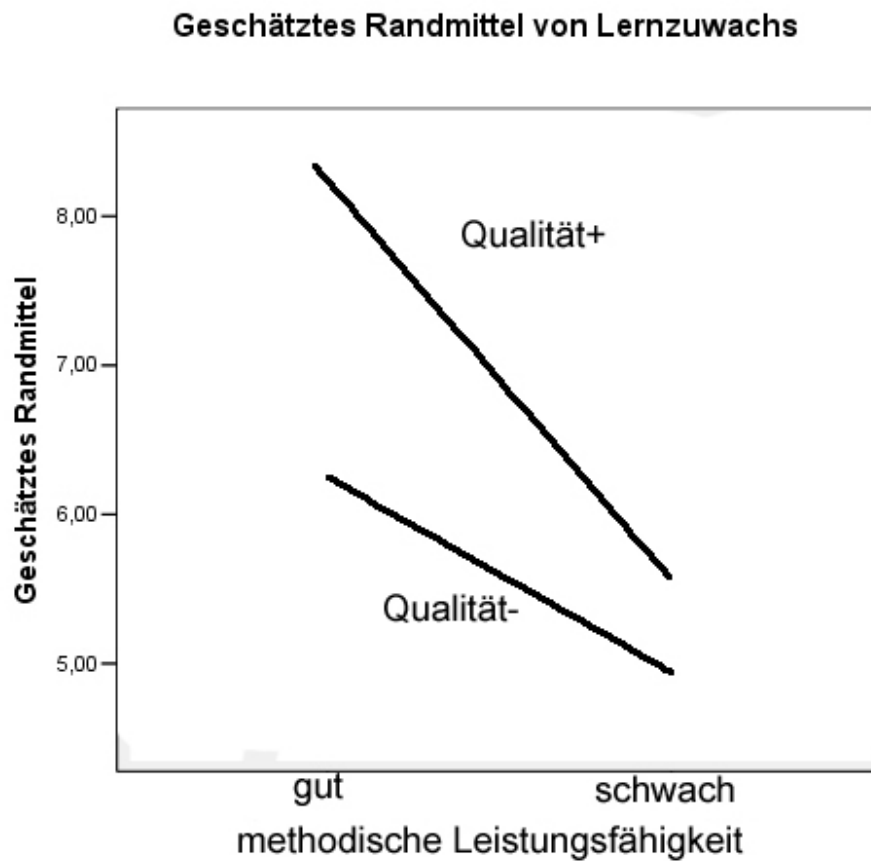


Abb. 52: Interaktionsdiagramm

Ein zusätzlicher Interaktionseffekt der beiden Faktoren wurde hingegen statistisch nicht signifikant. Die dritte Hypothese konnte mit den Ergebnissen nicht unterstützt werden.

12.7 Diskussion

12.7.1 Lernzuwachs bei unterschiedlicher Vernetzung

Die Fähigkeit, fachspezifische als auch fächerübergreifende Konzepte betreffende Aufgaben zu lösen, war nach dem Durcharbeiten der Lernumgebung größer. Gera-

de wenn eine fächerübergreifende Verknüpfung gefordert war, war der Lernzuwachs groß. Deshalb kann angenommen werden, dass die integrierte Darstellung von Inhalten der beiden Fächer in dieser Lerneinheit Wissen zu fächerübergreifenden Inhalten fördert. Einschränkend soll gesagt werden, dass in dieser Untersuchung natürlich keine Aussage darüber getroffen werden kann, was Lernende in den Einzeldisziplinen erreicht hätten, wenn die Information getrennt voneinander angeboten worden wäre.

12.7.2 Multiple Repräsentationen

Die Entnahme der Information für Aufgaben des Arbeitsbogens gelang aus allen Repräsentationsformen unabhängig von der Darbietungsform. Jedoch konnten Aufgaben, bei denen auf nur eine Repräsentationsform zurückgriffen werden musste, deutlich besser gelöst werden, als solche Aufgaben, bei denen Information aus zwei verschiedenen Repräsentationsformen für die Lösung benötigt wurde.

Aufgaben, bei denen die Informationen aus nur einer Repräsentation entnommen werden mussten, wurden gut und solche Aufgaben bei denen Information aus mehreren Repräsentationen entnommen werden mussten, eher weniger gut gelöst. So ist anzunehmen, dass für die Schülerinnen und Schüler die Informationsentnahme aus Einzeldarstellungen selbst kein Problem war. Damit ist anzunehmen, dass die kognitive Belastung bei der Informationsentnahme aus Einzeldarstellungen niedrig genug war, um eine Verarbeitung der Inhalte nicht entscheidend zu stören. Dabei muss an dieser Stelle gesagt werden, dass natürlich kein Instrument eingesetzt werden konnte, um die kognitive Belastung bei einer so langen Intervention wirklich direkt zu messen. Vielmehr ist dieser Schluss indirekt gezogen.

Auch die Aussage, dass das Problem für die Lernenden darin bestand, die Informationen aus zwei Repräsentationen zu verknüpfen, kann durch die Ergebnisse aus dem Arbeitsbogen nur indirekt belegt werden. Dennoch liegt die Vermutung nahe, dass Inhalte aus Repräsentationen, die in solchen Aufgaben angesprochen wurden, deshalb weniger tief verarbeitet werden konnten, weil ein Großteil der kognitiven

Ressourcen durch das Verbinden der Darstellungen in Anspruch genommen wurde. Zudem ist zu vermuten, dass sowohl durch eine Optimierung des Arbeitsbogens als auch durch eine bessere Koppelung zweier Repräsentationen im Programm selbst die Verarbeitungstiefe der Inhalte noch erhöht werden könnte.

12.7.3 Der Einfluss der fachmethodischen Leistungsfähigkeit

Die Ergebnisse legen die Vermutung nahe, dass die Lernumgebung für Lernende mit unterschiedlichen fachmethodischen Leistungsfähigkeiten geeignet war. Nahezu alle Lernenden konnten in allen Subskalen höhere Werte beim Nachtest als beim Vortest erreichen. Dabei konnten allerdings die Lernenden größere Lernzuwächse erzielen, die eine höhere fachmethodische Leistungsfähigkeit in den Naturwissenschaften hatten. Es spielte also vermutlich eine Rolle, dass die Lernenden auch typisch naturwissenschaftliche Arbeitsweisen wie das Formulieren von Hypothesen und die Einstellung von Variablen in virtuellen Versuchen auch in dieser Lernumgebung anwenden konnten. Ob aber mit der Lernumgebung auch fachmethodische Kompetenzen selbst gefördert werden konnten, übersteigt natürlich den Rahmen dieser empirischen Untersuchung. Vermutlich wäre ein viel längeres Treatment erforderlich, um messbare Unterschiede zu erreichen.

12.7.4 Der Umgang mit den Arbeitsheften

Die Qualität und die Intensität der Arbeit mit den Arbeitsheften wurden als ein weiterer relevanter Faktor für den Lernerfolg identifiziert. Allerdings konnte kein Interferenzeffekt zwischen Arbeit mit dem Arbeitsheft und der allgemeinen naturwissenschaftlichen Leistungsfähigkeit festgestellt werden. Dies ist aber nicht negativ zu deuten. Vielmehr bedeutet dies, dass gerade Lernende, die keine guten Lernvoraussetzungen im naturwissenschaftlichen Bereich haben, aber gut und konzentriert mit dem Arbeitsheft arbeiten, ebenfalls zufrieden stellende Lernergebnisse erreichen können. Nicht zuletzt deshalb ist die angemessene Unterstützung des Arbeitsprozesses eine wichtige Einflussgröße im Umgang mit multiplen Repräsentationen, die im Mittelpunkt des Interesses künftiger Untersuchungen behalten werden muss.

Ob mit höherem oder niedrigerem Anspruchsniveau in den Arbeitsheften mehr Lernzuwachs erreicht werden kann, konnte dabei nicht geklärt werden. Ob Unterschiede in der Aufgabenschwierigkeit und Stellung schon bei den Arbeitsbögen einen Einfluss haben, sollte in der folgenden Untersuchung zur virtuellen Kamera geklärt werden.

12.7.5 Konsequenzen für den Umgang

Natürlich bietet die Lernumgebung ausschließlich eine Sekundärerfahrung der Natur. Deshalb sollte die Arbeit mit dieser Lernumgebung in einem naturwissenschaftlichen Unterricht mit Realexperimenten kombiniert werden. Dabei können Kompetenzen wie das Planen, Umsetzen und die Überprüfung der Ergebnisse geübt werden. Zudem sollte natürlich das Messen als wichtige Kompetenz in Realversuchen erarbeitet werden. Simulationen am Computer bieten solche Erfahrungen in der Regel nicht.

Überdies kann es natürlich sinnvoll sein, nur Teilgebiete der Lernumgebung zu bearbeiten. So können im Unterricht beispielsweise die Aspekte Strahlung oder Konvektion gekürzt oder sogar ganz weggelassen werden. Aber auch zusätzliche computergestützte Maßnahmen können den Lernerfolg vergrößern. So kann es hilfreich sein, den Lernenden die Aufgabe zu stellen, ihr Lernfeld selbst zu strukturieren. Tergan (2003) nennt beispielsweise die Möglichkeit mit Concept-Mapping-Verfahren individuelles Wissensmanagement in E-Learning-Szenarios zu unterstützen.

Eine weitere Möglichkeit, den Lernprozess zu unterstützen, kann in der Nutzung individualisierten Lernmaterials liegen. Wird dies als Software angeboten, so besteht die Möglichkeit, dass der Computer die Expertise der Lernenden „erkennt“ und daraufhin die Information in einer dem Wissenstand angebrachten Art und Weise anbietet. Leutner (2002) beschreibt beispielsweise verschiedene unterschiedliche Funktionen von derart gestaltetem adaptivem multimedialem Lernmaterial. Eine solche Individualisierung kann aber auch schon durch verschiedene Formen

des Arbeitsheftes erreicht werden, die beispielsweise der Lehrende nach seinen Erfahrungen den einzelnen Lernenden zuordnet. Mit der im Folgenden dokumentierten Anschlussstudie sollte auch belegt werden, dass die Notwendigkeit solch einer Anpassung der Unterstützung an die Expertise der Lernenden wichtig ist.

13 Evaluation des Lernangebots „virtuelle Kamera“

Das folgende Kapitel enthält wesentliche Teile der Veröffentlichungen Rubitzko & Girwidz (2005) sowie Rubitzko & Girwidz (2006 in Druck), die um einige Teile ergänzt und neu gegliedert wurden. Die Veröffentlichungen finden sich im Anhang.

Der Aufbau dieses Kapitels ist mit dem vorherigen identisch. So werden wiederum nach den konkreten Fragestellungen das Studiendesign und der Ablauf des Treatments beschrieben. Die Operationalisierung der Messgrößen mit Beispielen der Frage- und Arbeitsheften schließt sich an. Nach einer kurzen Erörterung der verwendeten statistischen Verfahren werden wiederum die Ergebnisse vorgestellt und diskutiert.

13.1 Konkrete Fragestellungen

Die folgenden Forschungsfragen, die sich aus der Durchsicht der Literatur ergeben haben, bestimmen den Gang der Untersuchung. Sie werden bei der Diskussion der Ergebnisse erneut aufgegriffen:

- In welcher Weise und in welchem Maß kann durch die Arbeit mit dem Computerprogramm ein Aufbau von Konzepten zum Fotografieren gefördert werden?
- Wie komplex dürfen die Konzepte sein, damit sie von den Adressaten noch verarbeitet werden können?
- Welche Art von Information wird aus den beiden unterschiedlichen Darstellungen (Realdarstellung und Modelldarstellung) jeweils vorrangig entnommen?
- Ist das Programm auch für stark unterschiedliche Lerngruppen geeignet, und wo sind hierbei spezifische Unterschiede zu finden?
- Inwiefern hat die naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit einen Einfluss auf den Lernerfolg und welches der beiden Arbeitshefte unterstützt den Aufbau der Konzepte besser?

- Wie profitieren Lernende mit unterschiedlichen Vorkenntnissen von unterschiedlichen Arbeitsheften?

13.2 Studiendesign

An der gesamten Untersuchung nahmen 35 Schülerinnen und 60 Schüler aus der Realschule Klassenstufe zehn sowie 33 Studierende des Lehramts für Grund- und Hauptschule sowie des Lehramts für Realschule verschiedener Fachrichtungen teil. Die Lernenden arbeiten dabei maximal 50 Minuten allein an einem Notebook, beziehungsweise die Studierenden an einem normalen Computer.



Abb. 53: Zeitlicher Verlauf der Studie

Vor und nach dem eigentlichen Unterricht wurden Einflussfaktoren und Ergebnisse des Lernprozesses mit verschiedenen Messinstrumenten erfasst. Zudem wurden bei dieser Studie unterschiedliche Arbeitshefte eingesetzt (siehe Abb. 53).

Die Vorjahresnoten dienten bei den Schülerinnen und Schülern zum Erfassen der seither erbrachten Leistungen in den naturwissenschaftlichen Fächern Chemie und Physik. Diese Werte wurden im Vorfeld der Studie erhoben.

Der Vortest (T1) erfasste mittels Fragebogen das themenspezifische Vorwissen. Dies geschah drei Wochen vor dem eigentlichen Unterrichtsbeginn.

Zwei **verschiedene Arbeitshefte** begleiteten den Arbeitsprozess.

Der Nachtest (T2) erfasste mittels Fragebogen die Leistung im direkten Anschluss an den Unterricht.

13.3 Ablauf des Treatments

Drei Wochen vor dem eigentlichen Experiment erfolgte der Vortest zum Wissen. Im Vorfeld der Studie wurden die Probanden beider Populationen zufällig auf zwei Gruppen verteilt, denen unterschiedliche Arbeitshefte ausgehändigt wurden. Bei den Schülerinnen und Schülern erfolgte die Einteilung jeweils pro Klasse.

Der Unterricht selbst fand dann in den gewohnten Klassenräumen beziehungsweise mit den Studierenden in einem Rechnerraum der Hochschule statt. Zu Beginn des eigentlichen Treatments erfolgte eine kurze Einführung in den Ablauf der Studie. Die Lernenden waren sich bewusst, dass es unterschiedliche Arbeitshefte gab, aber dass das Programm, mit dem sie arbeiteten, identisch war. Dabei arbeiteten die Probanden im regulären Unterricht beziehungsweise in einem Seminar mit der virtuellen Kamera jeweils an einem eigenen Computer. Mit dem Start des eigentlichen Programms wurde eine kurze demonstrationsausführende Animation, die mit Clever PHL erstellt wurde, gestartet. (CleverPHL ist Teil des Open-Source-Projekts Jacareto und kann unter: <http://sourceforge.net/projects/jacareto/> heruntergeladen werden. Stand 20.10.05). Diese demonstrationsausführende Animation stellte die Funktionen des Programms vor. Einen empirischen Befund hierzu liefern auch Mayer & Moreno (2003). Demnach können bessere Lernergebnisse erzielt werden, wenn grundlegende Begriffe und auch die Funktionsweise von Systemkomponenten bekannt sind.

Nachdem das Programm gestartet war, lösten die Lernenden die Aufgaben in den Arbeitsheften. Bis auf Unterstützung bei technischen Problemen (zwei Kopfhörer

mussten ersetzt werden) erfolgte sonst keine zusätzliche Hilfe. Der zeitliche Rahmen von einer Unterrichtsstunde wurde nicht überschritten. Im Mittel arbeiteten die Lernenden 31 Minuten am Computer.

Im direkten Anschluss an die Arbeit mit dem Programm wurde der Nachtest durchgeführt.

13.4 Operationalisierung

13.4.1 Themenspezifisches Vorwissen und Wissen nach dem Unterricht

Das themenspezifische Vorwissen und das Lernergebnis wurden ebenfalls wie in der bereits oben geschilderten ersten Studie wiederum mit einem bei Vor- und Nachtest gleichen Fragebogen gemessen. Dieser befindet sich ebenfalls vollständig im Anhang. Mit diesem Fragebogen sollten sowohl der Gesamtlernerfolg, aber auch Lernerfolg bezogen auf verschiedene Komplexitätsniveaus und bezogen auf die Informationsherkunft aus den beiden Repräsentationsformen erfasst werden.

Der Test wurde aus zwölf Multiple-Choice-Items konstruiert, die an den oben genannten Lernzielen orientiert waren. Jedes der Items hatte fünf Antwortmöglichkeiten, von denen jeweils nur eine richtig war.

Jede Frage bezog sich entweder auf eine Veränderung der Belichtungszeit, der Blendeneinstellung oder beides. Damit konnten Aufgaben Kategorien unterschiedlich hoher Komplexität zugeordnet werden. War nur eine Einstellung nötig, so wurde das Item der Subskala „eindimensionale Zusammenhänge“ zugeordnet. Waren beide Einstellungen zu berücksichtigen, so wurde das Item der Subskala „komplexe Zusammenhänge“ zugeordnet. Beide Einstellungen sind in den Fragen gleich häufig behandelt.

In der Fragenkonstruktion wurde auch berücksichtigt, aus welcher Repräsentationsform die Information stammt. Wurde nach konkreten Werten gefragt, so fand sich die benötigte Information beispielsweise ausschließlich in der fotografisch-

realistischen Darstellung. Fragen zu Strahlengängen konnten nur mit Hilfe der Information aus der grafisch-modellhaften Darstellung beantwortet werden. Im Test wurde insgesamt darauf geachtet, dass die Fragen sowohl ein Schließen von der Einstellung auf das Bild erfordern als auch umgekehrt. Zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen.

Von jedem Punkt eines Gegenstands geht ein Lichtkegel aus. Dieser wird durch die Linse gebündelt. Ein kleines Loch in der Blende macht den Lichtkegel, der auf den Film fällt schlanker.	<input type="checkbox"/>
	... breiter.	<input type="checkbox"/>
	... kürzer.	<input type="checkbox"/>
	... länger.	<input type="checkbox"/>
	Keine der vier Antworten ist richtig.	<input type="checkbox"/>

Abb. 54: Testfrage Nr. 3; Information stammt aus der Modelldarstellung bei einem eindimensionalen Zusammenhang

Bei Testfrage Nr. 3. (Abb. 54) ist eine Einstellung, nämlich die Öffnung der Blende, in Zusammenhang mit einer Veränderung im Strahlengang zu bringen. Es handelt sich also um einen eindimensionalen Zusammenhang. Die Information dazu, wie der Strahlengang verläuft, kann nur aus der Modelldarstellung entnommen worden sein.


 <p>Du willst das Gesicht deiner Mitschülerin im Vordergrund vor einer entfernten Berglandschaft als Hintergrund fotografieren. Dabei soll sowohl das Gesicht als auch die Berglandschaft möglichst scharf abgebildet werden. Dazu wählst du ...</p>	... Blendenzahl 2 und eine daran angepasste Belichtungszeit.	<input type="checkbox"/>
	... Blendenzahl 4 und eine daran angepasste Belichtungszeit.	<input type="checkbox"/>
	... Blendenzahl 4 und Belichtungszeit 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
	... Blendenzahl 4 und Belichtungszeit 1/250 s.	<input type="checkbox"/>
	... Blendenzahl 8 und eine daran angepasste Belichtungszeit.	<input type="checkbox"/>

Abb. 55: Item Nr. 9; Information stammt aus der Realdarstellung bei einem komplexen Zusammenhang

Bei Testfrage Nr. 9 (Abb. 55) hingegen sind zwei Einstellungen (Blende und Belichtung) in Zusammenhang mit großem Schärfentiefenbereich zu bringen. Es handelt sich also um einen komplexen Zusammenhang. Informationen dazu waren ausschließlich aus den Realdarstellungen zu entnehmen, da in der Modelldarstellung keine Werte angegeben waren.

Zur Testauswertung wurde für jede richtige Antwort ein Punkt gegeben. Zwölf Punkte waren insgesamt zu erreichen. Für die Teilaspekte wurden Items zu Subskalen zusammengefasst. So waren bei eindimensionalen und komplexen Zusammenhängen jeweils sechs Punkte zu erreichen. Sowohl bei der Repräsentationsform Realdarstellung als auch bei der Modelldarstellung konnten jeweils fünf Punkte erreicht werden. Die restlichen zwei Items bezogen sich explizit auf die Verknüpfung beider Repräsentationsformen.

13.4.2 Lernzuwachs

Der Lernzuwachs wurde als Differenz aus Nachtest- und Vortestergebnis berechnet. Dabei ist davon auszugehen, dass der Trainingseffekt des Vortests auf den

Nachtest als eher gering zu betrachten ist, da drei Wochen zwischen den beiden Tests lagen und in dieser Zeitspanne kein Unterricht in diesen Themengebieten erfolgte.

13.4.3 Bisherige Leistungen in Naturwissenschaften

Die bisherigen Leistungen in den Naturwissenschaften wurden bei beiden Stichproben aus der Realschule mit Noten der neunten Klasse erfasst. Da die Untersuchung am Anfang der zehnten Klasse stattfand, sollten die Noten aus den Fächern Chemie und Physik einen Aufschluss über die naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit bieten.

13.4.4 Unterschiedliche Arbeitshefte

Das erste Arbeitsheft unterstützt entdeckendes Lernen. Es leitet zur Hypothesenbildung an, gibt Anregungen zum experimentellen Vorgehen und unterstützt bei der Datenanalyse. Dabei weist das Arbeitsheft eine geringere Leitung und eine größere Komplexität in den Anforderungen auf (siehe Abb. 42 und Kapitel 9).

Das zweite Arbeitsheft betont die Reduktion der kognitiven Belastung und orientiert sich an Forderungen der cognitive load theory (Chandler & Sweller 1991). Es bietet unter anderem Beispiele an, die mit Hilfe der Lernsoftware überprüft oder vervollständigt werden sollen. Dabei ist bei stärkerer Lenkung die Komplexität durch die Sequenzierung in den Anforderungen als eher geringer einzuschätzen (siehe Abb. 43 und Kapitel 9).

13.5 Statistische Verfahren

Um die Forschungsfragen bezüglich des Lernens mit der virtuellen Kamera zu klären, wurden mehrere statistische Verfahren benötigt. Wiederum wurde bei allen inferenzstatistischen Tests (zweiseitig) ein Signifikanzniveau von $p < 0,05$ festgelegt. Die Datenaufbereitung und Analyse erfolgte mit SPSS 11.

13.5.1 Validierung des Fragebogens

Vor der eigentlichen Untersuchung in der Schule und Hochschule wurden die Software und der Fragebogen in einer Vorstudie mit Studierenden des Lehramts getestet. Nach einem ersten Versuch wurden Fragen herausgenommen, mit deren Formulierung die Studierenden Probleme hatten und durch andere ersetzt. Beim Durchgang mit den 33 Studierenden ergab eine Reliabilitätsanalyse ein Cronbachs Alpha von 0,71 mit den zwölf verwendeten Items. Überdies gaben die Ergebnisse mit Mittelwerten von 6,8 Punkten beim Vortest und 8,5 Punkten beim Nachtest (siehe unten) Anlass zur Vermutung, dass auch Lernende der zehnten Klassenstufe mit dem Test zurecht kommen können.

13.5.2 Vortest-Nachtest-Vergleich

Um herauszufinden, ob durch die Arbeit mit der Software ein Aufbau von Konzepten zum Fotografieren gefördert werden kann, bot sich ein Vortest-Nachtest-Vergleich an. Dieser lässt sich leicht auf verschiedene Subskalen und mit verschiedenen Populationen durchführen. Um auf Unterschiede zwischen Vortest und Nachtest zu testen, wurde mit einem t-Test für verbundene Stichproben geprüft. Die dafür notwendige Normalverteilung der Testergebnisse wurde zuvor mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test geprüft. Der Vortest-Nachtest-Vergleich sollte auch Aufschluss über den Erfolg bei der Unterstützung der kognitiven Flexibilität Auskunft geben. Dabei sollten die Subskalen einfache und komplexe Zusammenhänge überprüft werden. Überdies sollten die Überprüfung der Subskalen Modelldarstellung und Realdarstellung Auskunft über die Informationsherkunft geben.

Lernzuwächse zwischen Vortest und Nachtest lassen sich zu größtem Teil auf das eigentliche Treatment zurückführen. Die Verzerrung durch das Bearbeiten des Vortests, der mit dem Nachtest identisch war, dürfte durch die lange Zeitdauer zwischen Vortest und Nachtest nur einen sehr kleinen Teil der Unterschiede ausgemacht haben.

13.5.3 Vergleich deskriptiver Maße der beiden Populationen

Überdies sollte ein Vergleich der deskriptiven Maße zwischen Stichproben aus den sehr unterschiedlichen Populationen (Realschule und Hochschule) Aufschluss darüber geben, ob das Programm für sehr unterschiedliche Lerngruppen und Altersstufen geeignet ist. In diesem Fall durch ein inferenzstatistisches Verfahren auf Unterschiede in der Population zu testen, erschien als nicht sinnvoll.

13.5.4 Zweifaktorieller Versuchsplan

Für das Zusammenspiel von naturwissenschaftlicher Leistungsfähigkeit und Art des Arbeitsheftes wurde ein 2 x 2 Design gewählt. Als Population wurden nun ausschließlich die Lernenden der zehnten Klassenstufe gewählt ($n = 95$). Ein zweistufiger Faktor war das Arbeitheft, als zweiter zweistufiger Einflussfaktor wurde die naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit gewählt. Dazu mussten die Versuchspersonen mittels Mediansplit in zwei Gruppen der Leistungsfähigkeit geteilt werden. Personen, die besser als der Median waren, wurden der Gruppe „hohe Leistungsfähigkeit“ zugeordnet. Personen, die gleich gut oder schlechter als der Median waren, wurden der Gruppe „niedrige Leistungsfähigkeit“ zugeordnet. Auf signifikante Abweichung von der Normalverteilung wurde in allen vier entstandenen Untergruppen mit einem Kolmogorov-Smirnov-Test getestet.

Für die statistische Auswertung wurden t-Tests für unabhängige Stichproben gewählt. Damit konnte bei zweistufigen Einflussfaktoren auf Haupteffekte getestet werden. Überdies sollten weitere t-Tests verwendet werden, um gezielt auf Unterschiede innerhalb der Teilstichproben „hohe Leistungsfähigkeit“ / „niedrige Leistungsfähigkeit“ auftraten und von den unterschiedlichen Arbeitsheften abhingen.

13.6 Ergebnisse

13.6.1 Vortest-Nachtest-Vergleiche

$n = 33$ Stu- dierende	Gesamttest (max. = 12)		Ein- dimensional (max. = 6)		Mehr- dimensional (max. = 6)		Real- darstellung (max. = 5)		Modell- darstellung (max. = 5)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Vortest	6,8	2,6	3,6	1,5	3,2	1,4	2,3	1,3	3,2	1,4
Nachtest	8,5	2,5	4,9	1,3	3,6	1,5	3,1	1,2	3,8	1,3
Diffe- renz	1,7	2,1	1,3	1,1	0,4	1,6	0,8	1,3	0,6	1,2
T-Wert	4,5		6,7		1,2		3,5		3,0	
Signifi- kanz	< 0,001		< 0,001		0,24		< 0,01		< 0,01	

Tab. 4: Ergebnisse Vortest-Nachtest Studierende

Der Vortest-Nachtest-Vergleich bei den Studierenden ergab einen geringen Zuwachs an richtigen Antworten, der statistisch allerdings höchstsignifikant war ($T = 4,5$; $p < 0,001$). Die Verbesserung betrifft keineswegs gleichermaßen eindimensionale und komplexe Zusammenhänge. Der Vortest-Nachtest-Vergleich erreicht für eindimensionale Zusammenhänge wieder höchstes Signifikanzniveau ($T = 6,7$; $p < 0,001$), während der Lernzuwachs bei den komplexen Zusammenhängen auch statistisch nicht abgesichert werden konnte ($T = 1,2$; $p = 0,24$).

Informationen konnten aber gleich gut aus den beiden Darstellungen entnommen werden (siehe Tab. 4).

$n = 95$ Schüler (-innen)	Gesamttest (max. = 12)		Ein- dimensional (max. = 6)		Mehr- dimensional (max. = 6)		Real- darstellung (max. = 5)		Modell- darstellung (max. = 5)	
	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
Vortest	3,2	1,8	1,5	1,1	1,8	1,3	1,2	0,9	1,5	1,1
Nach- test	4,6	2,2	2,8	1,4	1,8	1,2	1,8	1,1	2,1	1,4
Diffe- renz	1,4	2,3	1,3	1,7	0,1	1,5	0,6	1,4	0,6	1,3
T-Wert	6,0		7,7		0,6		4,6		4,3	
Signifi- kanz	< 0,001		< 0,001		0,52		< 0,001		< 0,001	

Tab. 5: Ergebnisse Vortest-Nachtest Schülerinnen und Schüler

Der Vortest-Nachtest-Vergleich bei den Schülern und Schülerinnen ergab ebenfalls einen geringen Zuwachs. Auch dieser war allerdings statistisch höchstsignifikant ($T = 6,0$; $p < 0,001$). Vergleichbar mit den Studierenden haben auch die Schülerinnen und Schüler bei eindimensionalen und komplexen Zusammenhängen gleich viel gelernt. Für eindimensionale Zusammenhänge weist auch hier der Vortest-Nachtest-Vergleich einen Zuwachs richtiger Antworten auf ($T = 7,7$; $p < 0,001$). Wiederum ähnlich zur Studie mit den Studierenden war auch bei der Studie mit den Schülerinnen und Schülern bei komplexen Zusammenhängen der Lernzuwachs statistisch nicht zu belegen ($T = 0,6$; $p = 0,52$). Die Informationsentnahme gelang aber gleich gut aus der Realdarstellung wie aus der Modelldarstellung (siehe Tabelle 5).

Ein Vergleich der beiden Populationen zeigt, dass beide Gruppen jeweils annähernd gleiche Lernzuwächse erreichten, die sich fast nur auf die Items zu eindimensionalen Aufgaben bezogen. Zudem sind die Standardabweichungen mit 2,6 und 2,5 im gesamten Vor- und Nachtest bei den Studierenden beziehungsweise 1,8 und 2,1 bei der Schülergruppe recht hoch.

Unterschiede bestanden aber im Niveau, auf dem die Lernzuwächse stattfanden. So erreichten die Schülerinnen und Schüler im Vortest einen Mittelwert von 3,2 Punkten und im Nachtest einen von 4,6 Punkten. Die Studierenden hingegen erreichten bereits im Vortest im Mittel 6,8 Punkte und im Nachtest 8,5 Punkte.

13.6.2 Zweifaktorieller Versuchsplan

$n = 95$	Reduktion der kognitiven Belastung	Entdeckendes Lernen	Beide Treatments
Leistungsstarke Lernende	$n = 23$ $M = 0,4; SD = 1,8$	$n = 21$ $M = 2,2; SD = 2,1$	$n = 44$ $M = 1,3; SD = 2,1$
Leistungsschwache Lernende	$n = 25$ $M = 1,4; SD = 2,3$	$n = 26$ $M = 1,7; SD = 2,5$	$n = 51$ $M = 1,5; SD = 2,4$
Alle Lernenden	$n = 48$ $M = 1,0; SD = 2,1$	$n = 47$ $M = 1,9; SD = 2,3$	$n = 95$ $M = 1,4; SD = 2,3$

Tab. 6: Einfluss von Lernvoraussetzungen und der Arbeitshefte

Die Ergebnisse für den zweiten Untersuchungsschwerpunkt sind in Tabelle 6 aufgeführt. Es sollte damit der Einfluss von Arbeitsheft und naturwissenschaftlicher Leistungsfähigkeit auf den Lernzuwachs belegt werden.

Insgesamt konnte aber kein signifikanter Unterschied im Lernzuwachs zwischen naturwissenschaftlich leistungsstarken und leistungsschwachen Lernenden festgestellt werden ($T = 0,51; p = 0,62$). Allerdings erreichten Lernende mit dem Arbeitsheft zum entdeckenden Lernen signifikant bessere Ergebnisse als mit dem Arbeitsheft, das die Reduktion der kognitiven Belastung betont ($T = 2,1; p = 0,035$).

Betrachtet man ausschließlich die leistungsschwachen Lernenden, so sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Treatments mit verschiedenen Arbeitsheften festzustellen ($T = 0,43; p = 0,67$). Betrachtet man hingegen die leistungsstarken Lernenden, so zeigen sich hier hochsignifikante Unterschiede zwi-

schen den Gruppen mit den verschiedenen Arbeitsheften ($T = 3,0$; $p = 0,004$). Dabei profitierten die Leistungsstarken deutlich mehr von den Heften, die das entdeckende Lernen unterstützen.

13.7 Diskussion

13.7.1 Lernerfolg und Komplexität

Die übergeordnete Frage war,

- in welcher Weise und in welchem Maß kann durch die Arbeit mit dem Computerprogramm ein Aufbau von Konzepten zum Fotografieren gefördert werden und wie komplex dürfen die Konzepte sein, damit sie von den Adressaten noch verarbeitet werden können?

Generell anzumerken ist, dass der Lernzuwachs, der zwischen Vortest und Nachtest bei den Stichproben beider Populationen gemessen wurde, zwar statistisch höchst signifikant wurde, aber dennoch nicht so groß wie erhofft war. Zudem beschränkte sich der Lernzuwachs auf eine Verbesserung bei eindimensionalen Zusammenhängen. Komplexe Zusammenhänge wurden nach dem Unterricht nicht wesentlich besser erkannt als zuvor. Man muss also davon ausgehen, dass die aufgebauten mentalen Modelle bei vielen Lernenden nur unvollständig oder noch in Einzelbausteinen getrennt sind und sie deshalb keine wesentlich komplexere Struktur aufweisen als vor der Arbeit mit der virtuellen Kamera. Allerdings sind sie vermutlich um grundsätzliche Zusammenhänge ergänzt worden. Zudem konnten wahrscheinlich falsche Vorstellungen von einfachen Zusammenhängen durch richtige ersetzt werden.

13.7.2 Arbeit mit multiplen Repräsentationen

Hierzu sollte folgende Frage geklärt werden:

- Welche Art von Information wird aus den beiden unterschiedlichen Darstellungen jeweils vorrangig entnommen?

Die Informationsentnahme konnte aus beiden Repräsentationsformen erfolgen. Offensichtlich blieben hinreichend kognitive Ressourcen zur Verarbeitung und Verknüpfung beider Darstellungen verfügbar. Dies lässt sich mit großer Wahrscheinlichkeit auch auf die geeignete Darstellung der Inhalte zurückführen. Diesbezüglich ist anzunehmen, dass Maßnahmen wie die Überlagerung von Modell- und Realdarstellung an der gleichen Stelle oder die Aufgaben in den Arbeitsheften die Kohärenzbildung bei den Lernenden zwischen beiden Darstellungen förderte.

13.7.3 Verschiedene Lerngruppen

Bezüglich der verschiedenen Lerngruppen sollte Folgendes geklärt werden:

- Ist das Programm auch für stark unterschiedliche Lerngruppen geeignet und wo sind hierbei spezifische Unterschiede zu finden?

Der große Unterschied im Mittelwert der Vortestergebnisse beider Gruppen lässt auf unterschiedlich hohes themenspezifisches Vorwissen schließen. Im ersten Moment ist daher umso erstaunlicher, dass dennoch die Lernzuwächse fast gleich waren. Eine Erklärung könnte sein, dass bei den Studierenden bei den einfachen Zusammenhängen mit einem Mittelwert von fast fünf von sechs Punkten im Nachtest bereits mit einem Deckeneffekt zu rechnen ist. Damit war in diesem Bereich kaum mehr zu erwarten. Der fehlende Zuwachs bei den komplexen Zusammenhängen lässt allerdings auch bei Studierenden auf eine noch nicht hinreichende Vertiefung des Wissens schließen. Da aber beide Lerngruppen einen vergleichbaren Lernzuwachs - aber auf unterschiedlichem Niveau - erreicht haben, spricht vieles für den Einsatz des Programms in beiden Populationen. Denn offensichtlich haben auch fortgeschrittene Lernende mit diesem Programm gute Chancen, auch auf höherem Niveau noch etwas dazuzulernen. Allerdings wären wahrscheinlich Lernende deutlich unter Klassenstufe zehn gerade mit den komplexen Zusammenhängen ohne eine weitere Unterstützung überfordert.

13.7.4 Arbeitshefte und Leistungsfähigkeit

Für das Zusammenspiel von Arbeitsheften und Leistungsfähigkeit sollte folgende Frage geklärt werden:

- Inwiefern hat die naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit einen Einfluss auf den Lernerfolg? Welches der beiden Arbeitshefte unterstützt den Aufbau der Konzepte besser? Und wie profitieren Lernende mit unterschiedlichen Vorkenntnissen von unterschiedlichen Arbeitsheften?

Der Lernzuwachs war bei den naturwissenschaftlich leistungsfähigeren Lernenden insgesamt nicht größer als bei den leistungsschwachen. Dies lässt sich vermutlich unter anderem auf die einführende Animation und damit auf den von Mayer und Moreno (2003) beschriebenen Effekt des Vortrainings zurückführen. Damit waren vermutlich eventuelle geringe Unterschiede im ohnehin nur geringen themenspezifischen Vorwissen bereits weitgehend ausgeglichen.

Dennoch spielte die allgemeine naturwissenschaftliche Leistungsfähigkeit eine Rolle. Im Mittel lernten die Leistungsstärkeren besser mit dem Arbeitsheft zum entdeckenden Lernen. Hierfür sind zwei Ursachen denkbar:

Erstens könnten für die leistungsstarken Schüler die etwas komplexeren Anforderungen beim Arbeitsheft zum entdeckenden Lernen anregend und eine angemessene Herausforderung gewesen sein.

Zweitens kann der „expertise reversal effect“ bewirkt haben, dass die zusätzliche Unterstützung durch das sehr stark leitende Arbeitsheft gerade für Leistungsstarke nachteilig war. Der Versuch, die kognitive Belastung möglichst gering zu halten, könnte dort zu einem Aufmerksamkeitsverlust oder zu einer Unterforderung geführt haben.

13.7.5 Grenzen der Untersuchung

Faktoren, welche bei Schlüssen aus dieser Studie berücksichtigt werden sollten sind beispielsweise, dass die Arbeitshefte keinesfalls vollständig konträr aufgebaut wer-

den konnten, sondern so gestaltet waren, dass beide vernünftig in einem normalen Unterricht einsetzbar erschienen. Mit deutlicheren Unterschieden in den Arbeitheften hätten sich vermutlich auch deutlichere Effekte speziell beim Nachweis der Wechselwirkung zwischen Leistungsvermögen und Unterstützung durch Arbeitshefte ergeben, wobei dies auf Kosten der Einsetzbarkeit in einem regulären Unterricht gegangen wäre. Überdies lassen sich die geringen Unterschiede zwischen starken und schwachen Lernenden damit begründen, dass die Varianz im Leistungsvermögen einer Realschulklasse natürlich nicht so hoch ist wie beispielsweise in einem Jahrgang mit Lernenden aller Schularten.

Aber trotz den eher geringen Unterschieden und trotz der nur kurzen Intervention ließen sich gerade für eine Überarbeitung des Programms und auch für die Einbindung in einen Unterricht viele Anregungen finden. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf der Förderung des Verständnisses von verhältnismäßig komplexen Zusammenhängen.

13.8 Konsequenzen für das Programm

Insbesondere die eher wenig erfolgreiche Förderung beim Erkennen komplexer Zusammenhänge führte zu einer **Modifikation des Programms**, um die Verbindung der einzelnen Konzepte nicht nur durch die Arbeitshefte anzuregen. Dabei sollten die komplexen Zusammenhänge auch durch kontextbezogene Hinweise deutlicher hervorgehoben werden. Dies ist in der erweiterten Programmversion inzwischen geschehen (siehe Abb. 32). Gerade in solch einer zielorientierten Anleitung, welche die Auswahl der geeigneten Information und die aktive Integration in das Vorwissen vorbereitet, sieht Mayer (2004) eine Möglichkeit, den Wissensaufbau der Lernenden zu fördern. Überdies sind auch nach der Untersuchung weitere Features wie eine zusätzliche Beleuchtung des Motivs und die Entfernungseinstellung hinzugekommen. Diese sind aber auch abschaltbar (siehe Abb. 56). Solche zuschaltbaren Angebote ermöglichen gerade fortgeschrittenen Lernenden eine tiefere Auseinandersetzung mit dem Unterrichtsgegenstand.

Du hast die Belichtungszeit verändert.
Der Verschluss wird etwas länger geöffnet.

Fragen und Aufgaben:
Beobachte, wie die Abbildung des Gegenstandspunktes über den Film gleitet. Beurteile die Schärfe des Pendels in der Fotografie, und vergleiche dies mit deiner Beobachtung im Modell.

☐ mit Lampe ☐ mit Entfernung ☒ mit Hinweisen

Abb. 56: Hinweise und Aufgaben sowie Steuerung zusätzlicher Features

Alle diese zusätzlichen Möglichkeiten im Programm brauchen Zeit, um ausprobiert und durchgearbeitet zu werden. Aber diese zusätzliche Lernzeit ist gerade bei komplexen Zusammenhängen wohl auch nötig. Auch die Einbindung der virtuellen Kamera in einen ergänzenden Unterricht erscheint wichtig, wenn es darum geht, die Lernzeit zu erhöhen.

13.9 Die virtuelle Kamera im regulären Physikunterricht

Begründet aus seiner Kritik zu Medienvergleichen betrachtet Clark (1994) das Maß der Effizienz von Medien als entscheidend für oder gegen deren Einsatz. Nicht zuletzt hieraus lässt sich der Einsatz der virtuellen Kamera im Unterricht rechtfertigen. So können alle Lernenden selbsttätig Erfahrungen mit einstellbaren Kameras sammeln und zwar kostenlos bei vorhandener Computerausstattung. Lernenden eine vergleichbare Erfahrung durch den Einsatz von realen Kameras zu ermöglichen, wäre für normale Schulen viel zu teuer. Aus didaktischer Sicht viel wichtiger ist natürlich die Tatsache, dass Lernende gleichzeitig mit einer wirklichkeitsgetreuen Abbildung einer Kamera und mit einem Modell arbeiten können. Diese Möglichkeit bietet eine normale Kamera nicht, auch wenn sie bezahlbar wäre. Insofern ist die virtuelle Kamera als ein effizient einsetzbares Medium zu betrachten, weil sie

besondere Lernmöglichkeiten bietet, wenn sie geschickt eingesetzt wird und zudem schnell und kostengünstig zugänglich ist.

Was bleibt, ist natürlich das generelle Problem der Sekundärerfahrung beim Einsatz von Medien und die inhaltliche Begrenzung der Software. Deshalb ist ein weitergehender Unterricht unerlässlich.

Der folgende Unterrichtsvorschlag soll speziell auch die komplexeren Zusammenhänge zugänglich machen und umfasst etwa zwei bis drei Schulstunden. Dabei spielt die Ergänzung der virtuellen Kamera mit anderen Medien eine wichtige Rolle. Eine Erprobung hierzu wäre ebenso wünschenswert wie ein Test der bereits angesprochenen Erweiterung des Programms.

- 1) Der Einstieg kann über verschiedene Fotos mit künstlerischen Aspekten erfolgen. So bieten sich Fotos von Fahrgeschäften eines Jahrmarktes zum gezielten Einsatz von Bewegungsunschärfe (entsprechend Abb. 7, Kapitel 3) oder auch Portraits mit und ohne Tiefenschärfe an.
- 2) Ein Teil der Erarbeitungsphase kann mit dem Computer und den Arbeitsheften erfolgen. Je nach Klassenstufe, Schulart und Vorwissen sollte ein geeignetes Arbeitsheft gewählt werden. So können einfache Zusammenhänge selbstständig von den Schülern erarbeitet und eine Grundlage für ein anschließendes Unterrichtsgespräch gelegt werden.
- 3) Im Unterrichtsgespräch können die einzelnen Erkenntnisse über die Zusammenhänge zu einem komplexeren Modell zusammengeführt und dieses dann mit der Simulation auf seine Tragfähigkeit getestet werden. Neben dem Computer selbst können hier auch experimentelle Aufbauten wie eine optische Bank mit Linse, Lochblende und Schirm helfen. Aber auch der Einsatz weiterführender Computersimulationen, beispielsweise zur Brechung, wie es von Mikelskis (1997) mit dem Programm phenOpt vorgeschlagen wird, ist sinnvoll. Eine weitere Ergänzung ist das frei erhältliche Programm zur Optik mit Lichtbündeln von Dittmann & Hacker (2003), das beispielsweise auch die Kaustik bei Linsen gut zeigt.

-
- 4) Als Sicherung wird eine an der Abbildung 8 in Kapitel 3 orientierte Übersicht über die Zusammenhänge beim Fotografieren erarbeitet. Dadurch findet auch eine grafische Repräsentation statt. Dabei können auch je-desto-Sätze formuliert oder konkrete Werte der Kameraeinstellung diskutiert werden.
 - 5) Die Anwendung und das Üben erfolgt anschließend mit einer herkömmlichen Spiegelreflexkamera oder einer einstellbaren Digitalkamera. Damit können dann Fotografien gemacht werden, wie sie zum Einstieg gezeigt wurden.

14 Zusammenfassung

Die Konzeption, Implementierung und Evaluation eines naturwissenschaftlichen Unterrichts war die Zielsetzung dieser Arbeit. Dafür boten sich die Themen Energieumsatz im Kontext von Überwinterungsstrategien und Fotografieren an, weil durch beide typisch naturwissenschaftliche Arbeits- und Denkweisen gefördert werden können. Beide Themen sind komplex. Beim Thema Energieumsatz resultiert die Komplexität aus der Verbindung zweier Fachinhalte und der Fülle an Information. Beim Thema Fotografieren sind hingegen die physikalischen Zusammenhänge selbst komplex. So müssen oft mehrere Einstellungen an einer Kamera verändert werden, um wirklich nur eine bestimmte Veränderung im Bild zu bewirken. Beide Inhalte wurden nach fachdidaktischen Gesichtspunkten strukturiert und geeignete Beispiele, beziehungsweise Modelle, ausgewählt, die für Lernende der Klassenstufe neun und zehn angemessen sind. Dabei wurden insbesondere bekannte Fehlvorstellungen der Lernenden mitberücksichtigt.

Die Theorie der kognitiven Flexibilität bietet einen Ansatz, wie solche komplexen Themen in ein Unterrichtskonzept unter Einbeziehen des Computers umgesetzt werden können. Dabei spielt der Einsatz verschiedener Darstellungen, die in einem aktiven Lernprozess mit Unterstützung erschlossen werden, eine wichtige Rolle.

Neben den besonderen Möglichkeiten wie Multicodierung, Multimodalität und Interaktivität, die der Computer bietet, stellen auf dem Rechner angebotene Darstellungen auch besondere Anforderungen an die Lernenden. So besteht gerade beim Anbieten verschiedener Darstellungen die Gefahr der kognitiven Überlastung. Deshalb wurden die einzelnen Repräsentationen so gestaltet, dass das Lernen möglichst erleichtert wird. Überdies wurde versucht, die für das Lernen wichtige Verknüpfung der Information, durch Maßnahmen wie der Überblendung von Darstellungen zu unterstützen.

Zudem war eine angemessene Aktivierung der Lernenden sicher zu stellen. Dies erfolgte mit Arbeitsheften, welche den Lernprozess begleiten und so die Informa-

tionsentnahme und deren Verarbeitung fördern sollten. Eine an die Leistungsfähigkeit der Lernenden angepasste Unterstützung war dabei eine der Zielsetzungen.

Zwei Studien, nämlich die erste zum Energieumsatz im Kontext von Überwintungsstrategien und eine zweite zum Fotografieren mit der virtuellen Kamera, in denen jeweils die Lernwirksamkeit des Unterrichts mit der Software evaluiert wurden, sollten nun folgende Forschungsfragen klären.

- 1) Wie kommen Lernende der Mittelstufe mit der Multicodierung von Inhalten zurecht und welche Lernerfolge können erreicht werden?

In der ersten Untersuchung zeigte sich, dass speziell der Einsatz von verschiedenen Repräsentationen mit Lernschwierigkeiten verbunden ist, wenn diese verknüpft werden müssen. In der Untersuchung mit der virtuellen Kamera konnte hingegen belegt werden, dass die Lernenden durchaus in der Lage sind, aus mehr als einer Repräsentation - nämlich aus einer realistischen Darstellung und einer modellhaften Darstellung - Informationen zu entnehmen und diese auch zu verknüpfen.

In beiden Untersuchungen führte die Arbeit mit den auf dem Computer präsentierten Darstellungen zu einem Lernzuwachs, der statistisch signifikant nachgewiesen werden konnte. In der Studie zum Energieübertrag im Kontext von Überwintungsstrategien stellten sich die Lernzuwächse sowohl bei fachspezifischen als auch bei fächerübergreifenden Fragestellungen ein. Bei der Evaluation der virtuellen Kamera waren Unterschiede je nach Ausprägung in der Komplexität der Fragestellung zu erkennen. So zeigte sich, dass komplexere Zusammenhänge auch mit multiplen Repräsentationen in einer Lernzeit von einer Schulstunde nicht erarbeitet werden konnten. Dies galt im Übrigen nicht nur für Lernende der Realschule, sondern auch für eine Gruppe Studierender. Lernzuwächse bei einfacheren Fragestellungen konnten jedoch in beiden Vergleichsgruppen nach dem Unterricht besser gelöst werden.

- 2) Wie ist eine Unterstützung durch Arbeitshefte beim Lernen zu gestalten, und wie lernen Schülerinnen und Schüler mit unterschiedlichen Lernvoraussetzungen?

Eine wichtige Zielsetzung dieser Arbeit war es, auf die Lernenden abgestimmte Hilfsmittel zu entwickeln. Diesbezüglich kann gesagt werden, dass sich in der Studie zum Energieumsatz im Kontext von Überwinterungsstrategien eine hohe Intensität und Qualität des Arbeitsprozesses, der von den Arbeitsheften gesteuert wurde, positiv auf den Lernzuwachs auswirkte. In der Studie mit der virtuellen Kamera konnte überdies belegt werden, dass die naturwissenschaftlich leistungsstarken Schülerinnen und Schüler eher von Arbeitsheften mit weniger bestimmenden Vorgaben profitierten.

Überdies sollten mit den Ergebnissen aus dieser Arbeit auch konkrete Aussagen zu einem naturwissenschaftlichen Unterricht getroffen werden, bei welchem die hier entwickelte Software eingesetzt wird. Aus den bereits genannten Ergebnissen lässt sich schließen, dass es wichtig ist, den Arbeitsprozess durch an die Zielgruppe angepasste Arbeitsaufträge zu fördern. Dies kann unter anderem durch unterschiedlich gestaltete Arbeitshefte geschehen. Außerdem ist ein weiterer Schluss der, dass gerade für komplexe Lerninhalte zusätzliche Unterrichtsmaßnahmen notwendig sind, welche die Lernzeit erhöhen. Das ist mit dem Computer allein nicht zu erreichen. Dieser sollte vielmehr als Ergänzung in einem naturwissenschaftlichen Unterricht mit der notwendigen didaktischen und methodischen Vielfalt gesehen werden, um komplexe Themen in der notwendigen Tiefe für Lernende zu erschließen.

15 Literatur

- Ainsworth, S. & van Labeke, N. (2004). Multiple Forms of Dynamic Representation. *Learning and Instruction*, 14 (3), 241-255.
- Ainsworth, S. (1999). The functions of multiple representations. *Computers & Education*, 33, 131-152.
- Ainsworth, S., Bibby, P. & Wood, D. (1998). Analysing the Costs and Benefits of Multi-Representational Learning Environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations* (120-134). London: Elsevier Science Ltd.
- Anderson, J. (1996). *Kognitive Psychologie: Eine Einführung*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Anderson, J. (2000). *Learning and memory*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Ausburn, L. J. & Ausburn, F. B. (1978). Cognitive styles: Some information and implications for instructional design. *Educational Communication and Technology*, 26 (4), 337-354.
- Baddeley, A. (1992). Working Memory. *Science*, 255, 556–559.
- Ballstaedt, S.-P. (1997). *Wissensvermittlung*. Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union.
- Baumert, J., Klieme, E., Neubrand, M., Prenzel, M., Schiefele, U., Schneider, W., et al. (1999). *Erfassung fächerübergreifender Problemlösekompetenzen in PISA*. Berlin.
- Berge, O. (1992). Fotografie und Physikunterricht. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 11, 4- 10.

- Berge, O. (2000). Das Auge im Optik-Unterricht der Sekundarstufe 1. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 56, 4-10.
- Berge, O. E. (1999). Versuche zur Messung von k-Werten. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 10 (53), 27-33.
- Bétrancourt, M. & Tversky, B. (2000). Effect of computer animation on users' performance: a review. *Le Travail Humain*, 63 (4), 311-329.
- Bleichroth, W. (1991). Elementarisierung, das Kernstück der Unterrichtsvorbereitung. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 2 (6), 4-11.
- Bodemer, D., & Plötzner, R. (2004). Encouraging the active integration of information during learning with multiple and interactive representations. In H. Niegemann, D. Leutner & R. Brünken (Eds.), *Instructional Design for Multimedia Learning. Proceedings of the 5th International Workshop of SIG 6 Instructional Design of the European Association for Research on Learning and Instruction (EARLI)*, June 27–29, 2002 in Erfurt (127-138). Münster: Waxmann.
- Bodemer, D., Plötzner, R., Feuerlein, I. & Spada, H. (2004). The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations. *Learning and Instruction* 14 (3), 325-341.
- Bogner, F., Dreher, G., Girwidz, R., Rubitzko, Th. & Wäckerle-Kuhn, G. (2002). *Studienbrief Wärme*. Karlsruhe: Fernstudienzentrum der Universität Karlsruhe.
- Bortz, J. (1999). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Braden, R. A. (1996). Visual literacy. In D. Jonassen (Ed.), *Handbook of research for educational communications and technology* (491-520). New York: Simon & Schuster Macmillan.

- Bransford, J. D., Sherwood, R. D., Hasselbring, T. S., Kinzer, C. K. & Williams, S. M. (1990). Anchored Instruction. Why we need it and how technology can help. In D. Nix & R. Spiro (Hrsg.), *Cognition, Education, and Multimedia: Exploring ideas in high technology*. Lawrence Erlbaum Associates, 115-141.
- Brünken, R. & Leutner, D. (2001). Aufmerksamkeitsverteilung oder Aufmerksamkeitsfokussierung? Empirische Ergebnisse zur "Split-Attention-Hypothese" beim Lernen mit Multimedia. *Unterrichtswissenschaft*, 29, 357-366.
- Brünken, R., Steinbacher, S., Schnotz, W. & Leutner, D. (2001). Mentale Modelle und Effekte der Präsentations- und Abrufkodalität beim Lernen mit Multimedia. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie* 15 (1), 16-27.
- Canãs, J. J., Antoli, A. & Quesada, J. F. (2001). The role of working memory on measuring mental models of physical systems. *Psicológica*, 22 (1), 25-42.
- Chandler, P. & Sweller, J. (1991). Cognitive load theory and the format of instruction. *Cognition and Instruction*, 8, 293-332.
- Clark, J. M. & Paivio, A. (1991). Dual Coding theory and Education. *Educational Psychology Review*, 3 (3), 149-210.
- Clark, R. (1994). Media will never influence learning. *Education technology research and development*, 42, (2), 21-29.
- Cognition and Technology Group at Vanderbilt (1993). Anchored instruction and situated cognition revisited. *Educational Technology*, 33 (3), 52-70.
- Craik, F. & Lockhart, R. (1972). Levels of Processing: A Framework for Memory Research. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 11, 671-684.
- Cronbach, L. J. & Snow, R. E. (1977). *Aptitudes and instructional methods: a handbook for research on interactions*. New York: Irvington.

- Crosby, M. E. & Iding, M. K. (1997). The influence of a multimedia physics tutor and user differences on the development of scientific knowledge. *Computers Education*, 29 (23), 127-136.
- Dahlqvist, P. (2000). Animations in Physics Learning. *International Conference on Mathematics / Science Education and Technology 2000* (1), 133-138.
- De Jong, T. & Van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, 68 (2), 179-201.
- De Jong, T., Ainsworth, S., Dobson, M., van der Hulst, A., Levonen, J., Reimann, P., Sime, J., van Someren, M. W., Spada, H. & Swaak, J. (1998). Acquiring knowledge in science and mathematics: The use of multiple representations in technology-based learning environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations* (9-40). London: Elsevier Science Ltd.
- De Kleer, J. & Brown, J. S. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. In D. Gentner & A. L. Stevens (Eds.), *Mental models* (155-190). Hillsdale, N. J.: Erlbaum.
- Dittmann, H. & Hacker, G. (2003). Programm zur Bündeloptik. <http://www.didaktik.physik.uni-erlangen.de/download/window.htm> (24.8.2005).
- Dochy, F., Segers, M. & Buehl, M. M. (1999). The relation between assessment practices and outcomes of studies: the case of research on prior knowledge. *Review of Educational Research*, 69 (2), 145-186.
- Duit, R. (1986 a). *Der Energiebegriff im Physikunterricht*. Kiel: IPN.
- Duit, R. (1986 b). Energievorstellungen. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik / Chemie*, 34 (13), 7- 9.

- Duit, R. (1986 c). Wärmeverstellungen. Naturwissenschaft im Unterricht Physik / Chemie, 34(13), 30-33.
- Duit, R. (1991). Zur Elementarisierung des Energiebegriffs? Naturwissenschaft im Unterricht Physik, 2 (6), 12-19.
- Duit, R. (1999). Die physikalische Sicht von Wärme und Energie verstehen? Naturwissenschaft im Unterricht Physik, 10 (53), 10-12.
- Duit, R., Häussler, P. & Kircher, E. (1981). Unterricht Physik. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Dutke, S. (1994). Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Kognitionspsychologische Grundlagen für die Software-Ergonomie. Göttingen, Stuttgart: Verlag für angewandte Psychologie.
- Engelhardt, P., Herdt, D. & Wiesner, H. (2003). Optische Geräte. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Feher, E. & Rice, K. (1988). Ein Vergleich optischer Vorstellungen von Lehrern und Schülern. Physica didactica, 15 (2), 3-20.
- Fenk, A. (1994). Spatial Metaphors and Logical Pictures. In: W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.), Comprehension of Graphics (43-62) Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Forbus, K. D. & Gentner, D. (1986). Learning Physical Domains: Toward a Theoretical Framework. In: R. S. Michalski, J. G. Carbonell & T. M. Mitchell (Eds.), Machine learning. An artificial intelligence approach (311-348). Los Altos: Morgan Kaufmann Publishers.
- Freytag, H. (fachliche Bearbeitung) (1977). Die Kamera. USA: Time Life Books.
- Girwidz, R. & Rubitzko, Th. (2002). Bilder im Unterricht. Alfa-Forum Zeitschrift für Alphabetisierung und Grundbildung, Winter 2002, 14-19.

- Girwidz, R. (2002 a). Multimedialität im Physikunterricht. *Unterricht Physik*, 13 (69), 7-10.
- Girwidz, R. (2002 b). Neues Lernen mit neuen Medien. *Unterricht Physik*, 13 (69), 4-6.
- Girwidz, R. (2004). Lerntheoretische Konzepte für Multimediaanwendungen zur Physik. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule* 1/3, 9-19.
- Girwidz, R., Bogner, F. X., Rubitzko, Th. & Schaal, S. (unter Reviewprozess b). Media Assisted Learning in Science Education: An Interdisciplinary Approach to Hibernation and Energy Transfer. Eingereicht bei: Science Education International.
- Girwidz, R., Bogner, F. X., Rubitzko, Th. & Schaal, S. (unter Reviewprozess a). Theoretical Concepts for Using Multimedia in Science Education. Eingereicht bei: Science Education International.
- Girwidz, R., Rubitzko, Th. & Spannagel, Ch. (2004). Animationen in multimedialen Lernumgebungen. . In V. Nordmeier & A. Oberländer (Hrsg.), *Didaktik der Physik. Beiträge zur Frühjahrstagung Düsseldorf 2004*. Berlin: Lehmanns Media.
- Goldman, S. R. (2003). Learning in complex domains: when and why do multiple representations help? *Learning and Instruction*, 13, 239-244.
- Haack, J. (2002). Interaktivität als Kennzeichen von Multimedia und Hypermedia. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (127–136). Weinheim: Beltz.
- Hanson, J. R. (1988). Learning styles, visual literacies, and a framework for reading instruction. *Reading Psychology: An International Quarterly*, 9, 409–430.

- Harrop, A. (2003). Multiple linked representations and calculator behaviour: the design of a computer-based pedagogy. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 22 (3), 241-260.
- Hegarty, M. & Just, M. A. (1993). Constructing mental models of machines from text and diagrams. *Journal of Memory and Language*, 32, 717-742.
- Heiser, J. & Tversky, B. (2002). Diagrams and descriptions in acquiring complex systems. *Proceedings of the meetings of Cognitive Science Society*.
- Hepp, R. (2001). Mehr Raum für das Thema Energie. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 12 (61), 39.
- Hering, E. Martin, R. & Stohrer, M. (1995). *Physik für Ingenieure*. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Huk, T., Steinke, M. & Floto, C. (2003 a). Computer animations as learning objects: What is an efficient instructional design, and for whom? *Proceedings of IADIS WWW/Internet 2003*, Algarve, Portugal.
- Huk, T., Steinke, M. & Floto, C. (2003 b). Helping Teachers Developing Computer Animations for Improving Learning in Science Education. *Society for Information Technology and Teacher Education International Conference 2003* (1), 3022-3025.
- Johnson-Laird, P. N. (1980). Mental Models in Cognitive Science. *Cognitive Science*, 4, 71-115.
- Jung, H. (1986). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik / Chemie*, 34 (13), 2- 6.
- Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). The expertise reversal effect. *Educational Psychologist*, 38 (1), 23-31.

- Kalyuga, S., Chandler, P. & Sweller, J. (1997). Levels of expertise and user-adapted formats of instructional presentations: a cognitive load approach. *Proceedings of the Sixth International Conference (UM 97)*, 261-272
- Kircher, E., Girwidz, R. & Häußler, P. (2000). *Physikdidaktik*. Braunschweig: Vieweg & Sohn.
- Kirstein, J. (2001). Interaktive Bildschirmexperimente im Physikunterricht. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 12 (62), 40-41.
- Kozma, R. (1991). Learning with Media. *Review of Educational Research*, 61 (2), 179-211.
- Kozma, R. (1994). Will media influence learning? Reframing the debate. *Education technology research and development*, 42 (2), 7-19.
- Kozma, R. (2003). The material features of multiple representations and their cognitive and social affordances for science understanding. *Learning and Instruction*, 13, 205-226.
- Labudde, P. (2003). Fächer übergreifender Unterricht in und mit Physik: eine zu wenig genutzte Chance. *Physik und Didaktik in Schule und Hochschule*, 1/2, 48-66.
- Leahy, W., Chandler, P. & Sweller, J. (2003). When auditory presentations should and should not be a component of multimedia instruction. *Applied Cognitive Psychology*, 17, 401-418.
- Lesgold, A. (1998). Multiple Representations and their implications for learning. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations* (307-319). London: Elsevier Science Ltd.

- Leung, M., Low, R. & Sweller, J. (1997). Learning from equations or words. *Instructional Science*, 25 (1), 37-70.
- Leutner, D. (2002). Adaptivität und Adaptierbarkeit multimedialer Lehr und Informationssysteme. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (115–125). Weinheim: Beltz.
- Levin, J. R., Anglin, G. J. & Carney, R. N. (1987). On Empirically Validating Functions of Pictures in Prose. In D. Willows & Houghton (Eds.), *The Psychology of Illustration. Vol. I Basic Research* (51-85). New York: Springer.
- Lewalter, D. (2003). Cognitive strategies for learning from static and dynamic visuals. *Learning and Instruction*, 13, 177-189.
- Lowe, R. K. (1998). Verarbeitungsanforderungen beim Verstehen komplexer animierter Bilder. *Zeitschrift für pädagogische Psychologie*, 12 (2/3), 125-134.
- Lowe, R. K. (2003). Animation and learning: selective processing of information in dynamic graphics. *Learning and Instruction*, 13, 157-176.
- Lowe, R. K. (2004). Interrogation of dynamic visualisation during learning. *Learning and Instruction*, 14 (3), 257-274.
- Lucas, K. (2004). *Thermodynamik*. Berlin Heidelberg: Springer.
- Mandl, H., Friedrich, H. F. & Hron, A. (1988). Theoretische Ansätze zum Wissenserwerb. In H. Mandl, H. Spada (Hrsg.), *Wissenspsychologie* (123-160). München: Psychologie Verlags Union.
- Mandl, H.; Gruber, H. & Renkl A. (2002). Situiertes Lernen in multimedialen Lernumgebungen. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (138–148). Weinheim: Beltz.
- Marcus, N., Cooper, M. & Sweller, J. (1996). Understanding instructions. *Journal of Educational Psychology*, 88 (1), 49-63.

- Mayer, R. E. & Gallini, J. K. (1990). When Is an Illustration Worth Ten Thousand Words. *Journal of Educational Psychology*, (82) (4), 715-726.
- Mayer, R. E. & Chandler, P. (2001). When learning is just a click away: Does simple user interaction foster deeper understanding of multimedia messages? *Journal of Educational Psychology*, 93, 390-397.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2002). Animation as an Aid to Multimedia Learning. *Educational Psychology Review*, 14 (1), 87-99.
- Mayer, R. E. & Moreno, R. (2003). Nine Ways to Reduce Cognitive Load in Multimedia Learning. *Educational Psychologist*, 38 (1), 43-52.
- Mayer, R. E. & Sims, V. K. (1994). For whom is a picture worth a thousand words? Extensions of a dual-coding theory of multimedia learning. *Journal of Educational Psychology*, 86 (3):389-401.
- Mayer, R. E. (1997). Multimedia Learning: Are We Asking the Right Questions. *Educational Psychologist*, 32 (1), 1-19.
- Mayer, R. E. (2001). Multimedia learning. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Mayer, R. E. (2003). The promise of multimedia learning: using the same instructional design methods across different media. *Learning and Instruction*, 13, 125-139.
- Mayer, R. E. (2004). Should there be a three-strikes-rule against pure discovery learning? The case of guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59 (1), 14-19.
- Meschede, D. (Hrsg.) (2004) Gerthsen Physik. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mikelskis, H. (1997). Der Computer - ein multimediales Werkzeug zum Lernen von Physik. *Physik in der Schule*, 35 (11), 394-398.

- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *The Psychological Review*, 63 (2), S. 81–97.
- Park, O.-C. & Hopkins, R. (1993). Instructional conditions for using dynamic visual displays: a review. *Instructional Science*, 21, 427-449.
- Pedrotti, F., Pedrotti, L., Bausch, W. & Schmidt, H. (1996). *Optik*. München: Prentice Hall.
- Peeck, J. (1993): Wissenserwerb mit darstellenden Bildern. In: B. Weidenmann, (Hrsg.), *Wissenserwerb mit Bildern, Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. (59-94) Bern: Verlag Hans Huber.
- Petschenka, A. Ojstersek, N. & Kerres, M. (2004). Lernaufgaben beim E-Learning. In A. Hohenstein & K. Wilbers (Hrsg.) *Handbuch E-Learning*. (Kap. 4.19) Köln: Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst.
- Plass, J. L., Chun, D. M., Mayer, R. E. & Leutner, D. (1998). Supporting visual and verbal learning preferences in a second-language multimedia training environment. *Journal of Educational Psychology*, 90, 25-36.
- Pollock, E., Chandler, P. & Sweller, J. (2002). Assimilating complex information. *Learning and Instruction*, 12, 61-68.
- Press, F. & Siever, R. (1995). *Allgemeine Geologie*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Reinhold, P. & Bünder, W. (2001). Stichwort: Fächerübergreifender Unterricht. *Zeitschrift für Erziehungswissenschaft*, 4 (3), 333-357.
- Rieber, L. P. (1996). Animation as Feedback in a Computer-Based Simulation: Representation Matters. *Educational Technology Research and Development*, 44 (1), 5-22.

- Rost, J., Walter, O., Carstensen, C., Senkbeil, M. & Prenzel, M. (2003). Naturwissenschaftliche Kompetenz. In M. Prenzel et al. Pisa 2003 - Der Bildungsstand der Jugendlichen in Deutschland – Ergebnisse des zweiten internationalen Vergleichs. (111-146). Münster: Waxmann.
- Rubitzko, Th. & Girwidz, R. (2004). Kognitive Flexibilität in der Wärmelehre - Evaluation einer hypermedialen Lernumgebung. In A. Pitton, (Hrsg.). Gesellschaft für Didaktik der Physik und Chemie (GDCP). Relevanz fachdidaktischer Forschungsergebnisse für die Lehrerbildung. Jahrestagung der GDCP in Heidelberg 2004. Münster: LIT.
- Rubitzko, Th. & Girwidz, R. (2005). Fotografieren mit einer virtuellen Kamera - Lernchance für Anfänger und Fortgeschrittene. Tagungsband zur Frühjahrstagung der DPG - Didaktik der Physik. Berlin 2005. In Druck.
- Rubitzko, Th. & Girwidz, R. (2006). Fotografieren mit einer virtuellen Kamera- Lernen mit multiplen Repräsentationen. Physik und Didaktik in Schule und Hochschule. Angenommen und in Druck.
- Salomon, G. (1984). Television is “easy” and print is “tough”: the differential Investment of mental effort in learning as a function of perceptions and attributions. *Journal of Educational Psychology*, 76 (4), 647-658.
- Savelsbergh, E. R., de Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1998). Competence related differences in problem representations: a study in physics problem solving. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations* (263-282). London: Elsevier Science Ltd.
- Scaife, M. & Rogers, Y. (1996). External cognition: how do graphical representations work? *International Journal of Human-Computer Studies*, (45) 2, 185–213.

- Schaal, S. & Bogner, F.X. (2005). Concept Mapping Verfahren zur Erfassung struktureller Lernzuwächse im computerunterstützten fachintegrativen Unterricht. In H. Bayrhuber, et al. (Hrsg.), *Bildungsstandards. Internationale Tagung der Sektion Biologiedidaktik des Verbandes Deutscher Biologen*. Kassel: VDBiol, 135-139.
- Schmidkunz, H. & Lindemann, H. (1999). *Das forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren*. Hohenwarsleben: Westarp Wissenschaften.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (1999). Einflüsse der Visualisierungsform auf die Konstruktion mentaler Modelle beim Text- und Bildverstehen. *Zeitschrift für Experimentelle Psychologie*, 46 (3), 217-236.
- Schnotz, W. & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13, 141–156.
- Schnotz, W. (1993): Wissenserwerb mit logischen Bildern. In: B. Weidenmann, (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern, Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. (95-147) Bern: Verlag Hans Huber.
- Schnotz, W. (2002). Enabling, Facilitating, and Inhibiting Effects in Learning from Animated Pictures. In: R. Ploetzner (Hrsg.), *International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning*. Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Schnotz, W., Bannert, M., & Seufert, T. (2002). Toward an integrative view of text and picture comprehension: Visualization effects on the construction of mental models. In J. Otero, J. A. León, & A. C. Graesser (Eds.), *The psychology of science text comprehension*. (385-416) Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

- Schnotz, W., Böckheler, J. & Grzondziel, H. (1999). Individual and co-operative learning with interactive animated pictures. *European Journal of Psychology of Education*, 14 (2), 245-265.
- Schnotz, W., Picard, E. & Henninger, M. (1994). The use of graphics and texts in constructing mental models. In: W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.): *Comprehension of Graphics* (185-205) Amsterdam: Elsevier Science Ltd.
- Schnotz, W., Seufert, T. & Bannert, M. (2000). Lernen mit Multimedia: Pädagogische Verheißungen aus kognitionspsychologischer Sicht. In: R. K. Silbereisen & M. Reitzle (Hrsg.), *Bericht über den 42. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Jena 2000* (457-467). Lengerich: Pabst Science.
- Schulmeister, R. (2002). Taxonomie der Interaktivität von Multimedia – Ein Beitrag zur aktuellen Metadaten-Diskussion. *Informationstechnik und Technische Informatik*, 44 (4), 193-199.
- Schwan, S. & Riempp, R. (2004). The cognitive benefits of interactive videos: learning to tie nautical knots. *Learning and Instruction*, 14 (3), 241-255.
- Seel, N. M. (1986). Wissenserwerb durch Medien und "mentale Modelle". *Unterrichtswissenschaft*, 4, 384-401.
- Seufert, T. & Brünken, R. (2004). Supporting coherence formation in multimedia learning. In P. Gerjets, P. A. Kirschner, J. Elen & R. Joiner, (Eds.) (2004). *Instructional design for effective and enjoyable computer- supported learning. Proceedings of the first joint meeting of the EARLI SIGs Instructional Design and Learning and Instruction with Computers* (138-147) (CD-ROM). Tuebingen: Knowledge Media Research Center.
- Seufert, T. (2003). Supporting coherences formation in learning from multiple representations. *Learning and Instruction*, 13, 227–237.

- Spiro, R. J. & Jehng, J. (1990). Cognitive flexibility and hypertext: theory and technology for the nonlinear and multidimensional traversal of complex subject matter. In D. Nix & R. Spiro (Eds.), *Cognition, Education, and Multimedia*. (163-205) Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Spiro, R. J., Coulson, R. L., Feltovich, P. J. & Anderson, D. K. (1988). Cognitive Flexibility theory: Advanced Knowledge Acquisition In Ill-Structured Domains. In: V. Patel (Ed.), *Tenth annual conference of the cognitive science society* (375–383). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Spiro, R. J., Feltovich, P. J., Jacobson, M. J. & Coulson, R. L. (1992). Cognitive Flexibility, Constructivism, and Hypertext: Random Access Information for Advanced Knowledge Acquisition in Ill-Structured Domains. In: T. Duffy & D. Jonassen (Eds.), *Constructivism and the Technology of Instruction: A Conversation*. (57-75) Hillsdale N. J.: Lawrence Erlbaum.
- Strzebkowski, R. & Kleeberg, N. (2002). Interaktivität und Präsentation als Komponenten multimedialer Lernanwendungen. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia und Internet* (229–245). Weinheim: Beltz.
- Strzebkowski, R. (1995). Realisierung von Interaktivität und multimedialen Präsentationstechniken. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), *Information und Lernen mit Multimedia* (269–303). Weinheim: Beltz.
- Sweller, J. (2002). Visualisation and Instructional Design. In R. Ploetzner (Ed.), *Proceedings of the Internatishal Workshop on Dynamic Visualizations and Learning*. (1501-1510). Tübingen: Knowledge Media Research Center.
- Sweller, J., van Merriënboër, J. J. G. & Paas, F. G. W. C. (1998). Cognitive Architecture and Instructional Design. *Educational Psychology Review*, 10 (3), 251-296.

- Sweller, J. & Chandler, P. (1994). Why some material is difficult to learn. *Cognition and Instruction*, 12, 185-233.
- Tergan, S. -O. (2003). Managing knowledge with computer-based mapping tools. In D. Lassner & C. Mc Naught (Eds.), *Proceedings of the ED-Media 2003 World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunication* (2514-2517). Honolulu, HI: University of Honolulu.
- Tipler, P. (2000). *Physik*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Tuovinen, J.-E. & Sweller, J. (1999). A comparison of cognitive load associated with discovery learning and worked examples. *Journal of Educational Psychology*, 91 (2), 334-341.
- Van Someren, M. W. & Tabbers, H. (1998). The role of prior qualitative knowledge in inductive learning. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen & T. de Jong (Eds.), *Learning with multiple representations* (102-119). London: Elsevier Science Ltd.
- Vorwerk, B. (1992). Die Gestaltung von Fotos als Unterrichtsprojekt. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 11, 24- 30.
- Weidenmann, B. (1991). *Lernen mit Bildmedien*. Weinheim; Basel: Beltz.
- Weidenmann, B. (1993): Informierende Bilder. In: B. Weidenmann, (Hrsg.): *Wissenserwerb mit Bildern, Instruktionale Bilder in Printmedien, Film/Video und Computerprogrammen*. (9-58) Bern: Verlag Hans Huber.
- Weidenmann, B. (1994): Codes of Instructional Pictures. In: W. Schnotz & R. W. Kulhavy (Eds.): *Comprehension of Graphics* (29-42) Amsterdam: Elsevier Science Ltd.

- Weidenmann, B. (2002 a). Abbilder in Multimediaanwendungen. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), Information und Lernen mit Multimedia und Internet (83–96). Weinheim: Beltz.
- Weidenmann, B. (2002 b). Multicodierung und Multimodalität im Lernprozess. In: L. J. Issing & P. Klimsa (Hrsg.), Information und Lernen mit Multimedia und Internet (45–62). Weinheim: Beltz.
- Wiesner, H. (1986). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten im Bereich der Optik. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik / Chemie*, 13, 25- 29.
- Wiesner, H. (1994). Ein neuer Optikkurs für die Sekundarstufe I, der sich an Lernschwierigkeiten und Schülervorstellungen orientiert. *Naturwissenschaft im Unterricht Physik*, 5 (22), 7-15
- Winn, B. (1987). Charts, Graphs, and Diagrams in Educational Materials. In D. Willows & H. Houghton (Eds.). *The Psychology of Illustration. Vol. I Basic Research.* (152-198) New York: Springer.
- Winn, W. (1993). Perception principles. In M. Fleming & W. H. Levie (Eds.). *Instructional message design: Principles from the behavioral and cognitive sciences* (55-126). Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications.
- Wittrock, M. C. (1974). Learning as a generative process. *Educational Psychologist*, 11 (2), 87-95.
- Zöfel, P. (2002). *Statistik verstehen*. München: Addison-Wesley.

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Ergebnisse des Vortest-Nachtest-Vergleichs bezüglich aller Subskalen	159
Tab. 2: Lösungswahrscheinlichkeit von Aufgaben des Arbeitsheftes	160
Tab. 3: Ergebnisse der Kovarianzanalyse	161
Tab. 4: Ergebnisse Vortest-Nachtest Studierende	176
Tab. 5: Ergebnisse Vortest-Nachtest Schülerinnen und Schüler	177
Tab. 6: Einfluss von Lernvoraussetzungen und der Arbeitshefte	178

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Fachliche Struktur der Inhalte aus der Lernumgebung als Navigationstool	24
Abb. 2: Bildhafte Kontextualisierung zum Energietransport durch eine Scheibe...	27
Abb. 3: Modell zum Energietransport durch eine Glasscheibe als Animation.....	27
Abb. 4: Abbildung dünner Linsen mit achsenparallelem und zentralem Strahl	33
Abb. 5: Fotografie eines dünnen Lichtbündels durch eine Linse	34
Abb. 6: Zusammenhang zwischen Blendenöffnung und Schärfentiefe.....	36
Abb. 7: „Maxwell’scher Papagei“ mit verschiedenen Einstellungen fotografiert...	39
Abb. 8: Einige wichtige Zusammenhänge beim Fotografieren mit einer Kamera ..	42
Abb. 9: Münzen mit Tiefenunschärfe und überbelichtet (Blende 2; 1/60 s)	42
Abb. 10: Pendel mit Bewegungsunschärfe und gut belichtet (Blende 8 1/15 s)	43
Abb. 11: Virtuelles Säugetier zum Erlernen von Überwinterungsstrategien.....	53
Abb. 12: Prozess der Informationsverarbeitung	70
Abb. 13: Integriertes Modell des Text- und Bildverstehens	72
Abb. 14: Ordnungsstruktur der Darstellungsformen.....	80
Abb. 15: Abbildung einer Thermoskanne	84
Abb. 16: „Ulle“ schwitzt für das Lernen mit Bildern	84
Abb. 17: Styropor dient zur Isolation.....	85
Abb. 18: Ausschnitt der Übersichtskarte zur Navigation und Strukturierung	86
Abb. 19: Prozesse von Absorption und Emission als erläuterndes Bild zum Text ..	87
Abb. 20: Diagramme zu unterschiedlichen Isolationswirkungen von Materialien ..	89
Abb. 21: Text zur Absorption	91
Abb. 22: Text-Bild-Kombination zur Berechnung des Wärmestroms	96
Abb. 23: Filmausschnitt, der einen hechelnden Eisbär zeigt	100
Abb. 24: Kleine Animationen, die Aufmerksamkeit wecken (stark vergrößert!)..	101
Abb. 25: Drei Phasen aus einer Animation zur Konvektion in einem Rohr	102
Abb. 26: Animation zur Entstehung einer Inversion	104
Abb. 27: Einfache Simulation zum Wärmestrom	106

Abb. 28: Interaktives Bild zum Energiehaushalt Erde-Atmosphäre-Weltraum	107
Abb. 29: Roll-Over-Bild zum Wärmestrom durch das Glas des Gewächshauses.	110
Abb. 30: Multicodierung: Anwendung mit Tabellenwert, Simulation, Infografik	111
Abb. 31: Film und Animation zur freien Konvektion in einem Rohr.....	114
Abb. 32: Aufbau der virtuellen Kamera.....	115
Abb. 33: Fotografisch-realistische Repräsentation	116
Abb. 34: Grafisch-modellhafte Repräsentation.....	116
Abb. 35: Album der virtuellen Kamera.....	118
Abb. 36: Lückentext aus dem Arbeitsheft zur Lernumgebung „Leben im Winter“	124
Abb. 37: Multiple-Choice aus dem Arbeitsheft zum „Leben im Winter“	125
Abb. 38: Aufgabe im Stile eines completion problems zum Wärmestrom	125
Abb. 39: Aufgabe zum Arbeiten mit der Simulation	126
Abb. 40: Aufgabe zum Arbeiten mit der Simulation	127
Abb. 41: Aufgabe zum Arbeiten mit verschiedenen Repräsentationen.....	127
Abb. 42: Teile des Arbeitsheftes, das entdeckendes Lernen unterstützen soll	130
Abb. 43: Teile des Arbeitsheftes, das die mentale Belastung reduzieren soll	133
Abb. 44: Darstellung des Wirkungsgefüges	147
Abb. 45: Zeitlicher Verlauf der Studie.....	150
Abb. 46: Item im Multiple-Choice-Format zu physikspezifischem Inhalt	153
Abb. 47: Item in halboffenem Fragenformat zu fächerübergreifendem Inhalt.....	153
Abb. 48: Häufigkeit der erreichten Punkte in Vortest und Nachtest	157
Abb. 49: Häufigkeit der erreichten Punkte im Vor- und Nachtest Subskala Physik	157
Abb. 50: Häufigkeit der erreichten Punkte im Vor- und Nachtest Subskala Biologie	158
Abb. 51: Häufigkeit der erreichten Punkte im Vor- und Nachtest Subskala fächerübergreifende Informationen.....	158
Abb. 52: Interaktionsdiagramm.....	162
Abb. 53: Zeitlicher Verlauf der Studie.....	168

Abb. 54: Testfrage Nr. 3; Information stammt aus der Modelldarstellung bei einem eindimensionalen Zusammenhang	171
Abb. 55: Item Nr. 9; Information stammt aus der Realdarstellung bei einem komplexen Zusammenhang.....	172
Abb. 56: Hinweise und Aufgaben sowie Steuerung zusätzlicher Features	183

Anhang

Trage hier deine **Klasse** und dein **Geschlecht** (**m** = männlich, **w** = weiblich) ein.

Klasse :

Geschlecht:

Trage hier bitte **nur die Anfangsbuchstaben der Vornamen deiner Mutter und deines Vaters ein.**

(z.B. Tanja, Achim = T, A)

Anfangsbuchstabe des Vornamens der Mutter:

des Vaters:

Trage hier bitte **nur den Tag** deines **Geburtsdatums** ein

(z.B. 12, wenn du am 12.11.1987 Geburtstag hast)

Geburtstag :



Physik



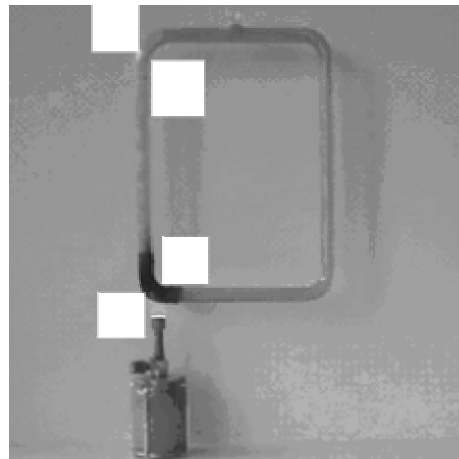
5. Konvektion: Fülle jede Lücke mit einem Begriff aus dem Wörtlervorrat. Vorsicht, nicht alle passen.

Wörtlervorrat: Zentralheizung, Flüssigkeiten, Herdplatte, Feststoffen, Aufstieg von Warmluft, Fön, Sonnenstrahlung, Gasen, Energie

Bei der Konvektion wird _____ transportiert. Konvektion kann, da Stoffe sich bewegen müssen, nur in _____ oder in _____ stattfinden. Wichtige Beispiele für den Energietransport durch Konvektion sind _____, _____ und _____.

6. Ordne den Feldern im Bild die passenden Kennbuchstaben zu!

- a) Energie wird vom Wasser abgegeben.
- b) Energie wird dem Wasser zugeführt.
- c) Temperatur des Wassers verringert sich.
- d) Temperatur des Wassers erhöht sich.

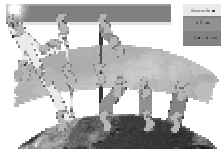




7. Fülle jede Lücke mit einem Begriff aus dem Wörternvorrat. Verwende dazu alle Begriffe.

Wörternvorrat: Temperatur, Energieabgabe, innere Energie, sichtbares Licht, Infrarotstrahlung

Emission ist die _____ durch elektromagnetische Strahlung.
Körper verringern dabei ihre _____. Emission findet als _____ oder als _____ statt.
Erhöht sich die Energiemenge, die ein Körper durch Emission abgibt, so kann man davon ausgehen, dass sich zuvor seine _____ erhöht haben muss.



8. Erstelle die Energiebilanz der Atmosphäre des vielschichtigen Modells

Schau dir dazu das Beispiel der Energiebilanz beim einfachen Modell an. Dadurch kannst du verstehen, warum die Temperatur der Atmosphäre im Durchschnitt fast konstant bleibt.

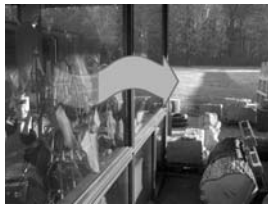
Energiebilanz der Atmosphäre des vielschichtigen Modells:



Aufgabe für Selbstsucher

9. Strahlung: Setze den richtigen Kennbuchstaben in das Kästchen ein:

Absorption	<input type="checkbox"/>	...a) verringert die innere Energie des Körpers.
Transmission	<input type="checkbox"/>	...b) beeinflusst die innere Energie des Körpers nicht.
Reflexion	<input type="checkbox"/>	...c) vergrößert die innere Energie des Körpers.
Emission	<input type="checkbox"/>	



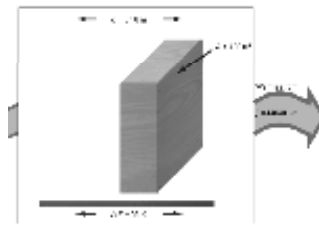
10. Bestimme jeweils die Größe des kleinen und des großen Wärmestroms in der Animation.

Zähle dazu die Pfeile, die eine Energieportion von 100 J enthalten sollen. Miss die Zeit mit der Uhr. Beziehe den Wärmestrom auf eine Sekunde.

Hierzu ein Beispiel: 3 Pfeile in 6 Sekunden: $\frac{3 \cdot 100 \text{ J}}{6 \text{ s}} = 50 \frac{\text{J}}{\text{s}}$

Kleiner Wärmestrom: _____ Pfeile in _____ Sekunden: _____ =

Großer Wärmestrom: _____ Pfeile in _____ Sekunden: _____ =



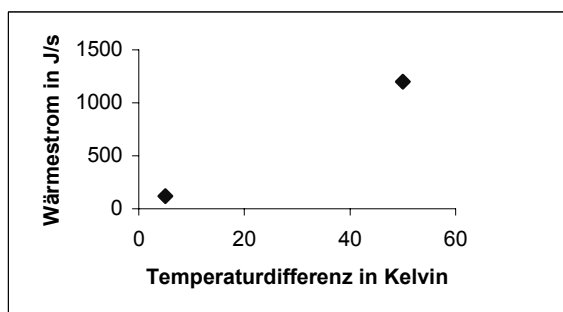
11. Bestimme mit Hilfe der Simulation den Wärmestrom, der durch eine Holzfläche dringt. Stelle dazu die benötigten Werte ein und trage den Wärmestrom in die Tabelle ein.

- Die Temperaturdifferenz beträgt 10 Kelvin.
- Die Fläche beträgt 20 m².
- Die Trennschicht hat eine Dicke von 0,1 m.
- Das Material ist Holz.

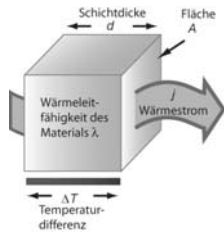
Ermittelter Wärmestrom bei 10 Kelvin:	
Wärmestrom bei einem verdoppelten Temperaturunterschied von 20 Kelvin:	
Wärmestrom bei einem vierfachen Temperaturunterschied von 40 Kelvin:	

12. Vervollständige mit den Werten von Aufgabe 11 das Schaubild für Holz rechts.

Das Diagramm rechts zeigt die Abhängigkeit des Wärmestroms von der Temperaturdifferenz. Es handelt sich um Holz der Schichtdicke 0,1 m und einer Trennfläche von 20 m².



13. Untersuche das Verhalten von mindestens zwei beliebigen anderen Materialien.



14. Berechne den Wärmestrom, der durch eine Eisenfläche dringt. Entnimm die Werte aus der Tabelle.

- Die Temperaturdifferenz beträgt 10 Kelvin.
- Die Fläche beträgt 20 m².
- Die Trennschicht hat eine Dicke von 0,1 m.
- Das Material ist Eisen.

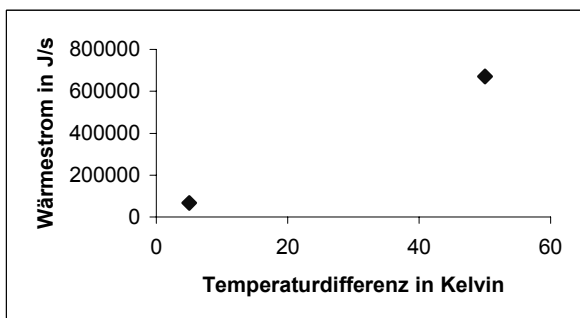
$\Delta T = 10 \text{ K}$ $A = 20 \text{ m}^2$ $d =$ $\lambda =$

$j =$ _____ $j =$ _____ $j =$

15. Wie groß wird der Wärmestrom, wenn die Temperaturdifferenz nun 30 Kelvin beträgt, sonst aber alles gleich bleibt:

16. Vervollständige mit den beiden Werten von Aufgabe 14 und 15 das Schaubild für Eisen rechts.

Das Diagramm rechts zeigt die Abhängigkeit des Wärmestroms von der Temperaturdifferenz. Es handelt sich um Eisen der Schichtdicke 0,1 m und einer Trennfläche von 20 m².



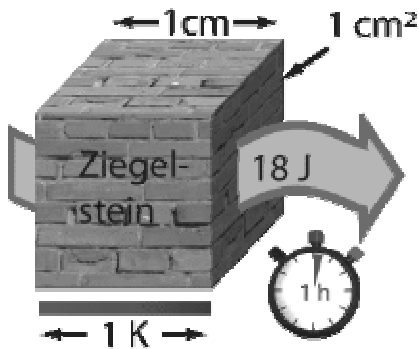
17. Welche der Anwendungen in der Tabelle waren dir neu oder haben dich überrascht? Kreuze an!

- | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---|
| <input type="checkbox"/> Kupfer | <input type="checkbox"/> Glas | <input type="checkbox"/> Gesteine | <input type="checkbox"/> Ziegelstein |
| <input type="checkbox"/> Wasser | <input type="checkbox"/> Eisen | <input type="checkbox"/> Luft | <input type="checkbox"/> Styropor <input type="checkbox"/> Schnee |



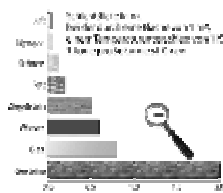
Aufgabe für Selbstsucher

18. Wie ist die Darstellung der Infografik unten zu lesen:



Diese Darstellung bedeutet, dass durch eine Fläche von _____

eine Energie von _____ dringt.



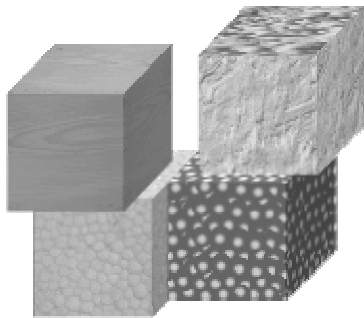
Aufgabe für Selbstsucher

19. Vergleiche die Wärmeleitfähigkeit von Fett mit der von Kupfer und Gestein.

Um die gleiche Isolationswirkung von einer 0,1 m dicken Fettschicht zu erreichen,

müssten etwa _____ cm Gesteinsschicht verwendet werden.

müssten etwa _____ cm Kupferschicht verwendet werden.



Aufgabe für Selbstsucher

20. Ordne Holz, Schnee, Styropor und Fett nach ihrer Wärmeleitfähigkeit.

Beginne mit dem Material, welches die geringste Wärmeleitfähigkeit hat.

Trage hier deine **Klasse** und dein **Geschlecht** (**m** = männlich, **w** = weiblich) ein.

Klasse :

Geschlecht:

Trage hier bitte **nur die Anfangsbuchstaben der Vornamen deiner Mutter und deines Vaters** ein.

(z.B. **Tanja, Achim** = **T, A**) Anfangsbuchstabe des Vornamens der Mutter: des Vaters:

Trage hier bitte **nur den Tag** deines **Geburtsdatums** ein

(z.B. **12**, wenn du am **12.11.1987** Geburtstag hast)

Geburtstag :

Bedingungen im Winter

Kreuze die richtige Lösung an. Mehrfachnennungen sind möglich.

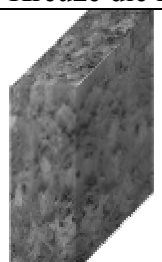
Kreuze an

1. Zugvögel fliegen im Winter aus Mitteleuropa in den Süden. Sie tun dies, weil sie dort mehr Nahrung finden.	<input type="checkbox"/>
	... dort weniger Fressfeinde leben.	<input type="checkbox"/>
	... es dort weniger regnet.	<input type="checkbox"/>
	... die Landschaft dort schöner ist.	<input type="checkbox"/>
	... dort nicht die Gefahr droht, zu erfrieren.	<input type="checkbox"/>
2. Auf der Suche nach einem Planeten, auf dem es ebenfalls wie auf der Erde Jahreszeiten gibt, muss man auf folgende Voraussetzungen achten:	Der Planet muss um eine Sonne kreisen.	<input type="checkbox"/>
	Der Planet muss einen Mond haben.	<input type="checkbox"/>
	Der Planet sollte sich um seine eigene Achse drehen.	<input type="checkbox"/>
	Die Drehachse sollte leicht geneigt sein.	<input type="checkbox"/>
	Die Drehachse sollte senkrecht zur Umlaufbahn stehen.	<input type="checkbox"/>
3. Wenn der Eisbär im Wasser nach einer Robbe jagt, ist dort hauptsächlich folgender Prozess relevant:	Konvektion	<input type="checkbox"/>
	Strahlung	<input type="checkbox"/>
	Verdunstung	<input type="checkbox"/>
	Wärmeleitung	<input type="checkbox"/>

Wärmestrom

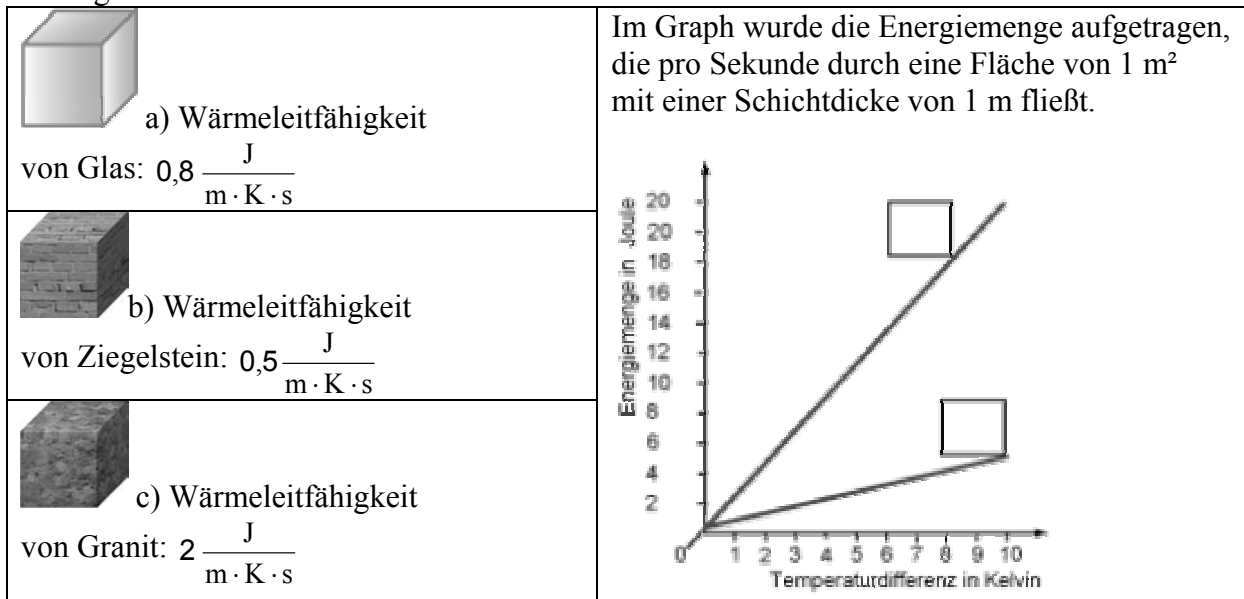
4. Markiere den größten Wärmestrom, der durch eine Fläche dringt mit einem Kreuz und den kleinsten mit einem Kreis.	20 Joule fließen in 10 Sekunden	<input type="checkbox"/>
	10 Joule fließen in 10 Sekunden	<input type="checkbox"/>
	20 Joule fließen in 20 Sekunden	<input type="checkbox"/>
	30 Joule fließen in 20 Sekunden	<input type="checkbox"/>
	10 Joule fließen in 20 Sekunden	<input type="checkbox"/>

Kreuze die richtige Lösung an.

	5. Wie groß ist der Wärmestrom, der durch eine Fläche aus Granit dringt? Die Fläche beträgt 1 m². Die Schichtdicke beträgt 2 m. Die Temperaturdifferenz beträgt 3 K. Granit hat eine Wärmeleitfähigkeit von $2 \frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s}}$.	6 J/s	<input type="checkbox"/>
		12 J/s	<input type="checkbox"/>
		3 J/s	<input type="checkbox"/>
		1,33 J/s	<input type="checkbox"/>
		0,75 J/s	<input type="checkbox"/>

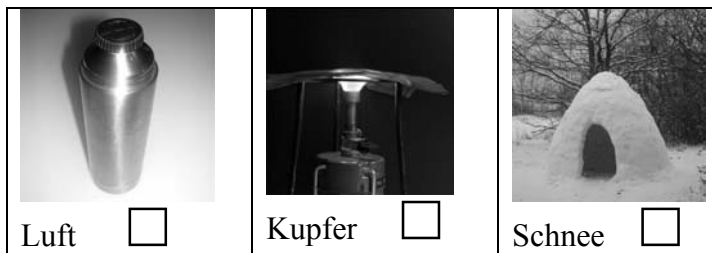
Wärmeleitfähigkeit

6. Ordne zwei der Materialien je einem Graphen zu, indem du die Kennziffer in das Kästchen einträgst!



7. Ordne den Materialien die Nummern 1, 2 und 3 zu.

1 bedeutet größte Wärmeleitfähigkeit und 3 bedeutet kleinste Wärmeleitfähigkeit.



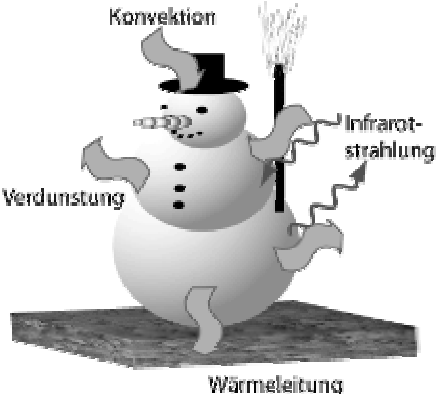
Energieverlust:

Kreuze an.

	richtig	weiß nicht	falsch
8. Energieabgabe durch Verdunstung funktioniert bei hoher Luftfeuchtigkeit nicht gut.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Wenn Tiere im Winter windstille Standorte aufsuchen, verhindern sie in erster Linie Energieverluste durch Wärmeleitung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Viele Schlangen verfügen über ein Grubenorgan, mit dem sie Infrarotstrahlung wahrnehmen können. Sie jagen mit diesem Sinnesorgan hauptsächlich gleichwarme Tiere.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Wenn man einen dicken Winterpulli anzieht, dann ist die körpfernah festgehaltene Luft für die Isolation zuständig.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12. Der Eisbär hat aufgrund seiner Anpasstheit eher mit dem Problem der Überhitzung als mit kalten Temperaturen zu kämpfen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13. Bei gleichwarmen Tieren ist der Energieverlust abhängig von der Durchblutung.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14. Beim Winterschlaf fällt die Körpertemperatur nicht unter 15 °C.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15. Das Aufsuchen einer geschützten Behausung gehört nicht zum Winterschlaf und zur Winterruhe.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
16. Der Steinbock verringert mit seinem Winterfell hohe Energieverluste durch Konvektion.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
17. Durch Schwitzen wird überschüssige Energie abgegeben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
18. Der Eisbär hat lichtundurchlässige Haare.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
19. Gleichwarme Tiere sind in der Lage, die Durchblutung der Haut zu erhöhen oder zu erniedrigen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
20. Bei großen gleichwarmen Tieren ist Winterschlaf sinnvoll.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
21. Das Eichhörnchen überwintert aktiv.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
22. Konvektion findet ausschließlich in Flüssigkeiten oder Gasen statt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
23. Die Temperatur der Atmosphäre würde steigen, wenn mehr Energie emittiert als absorbiert werden würde.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
24. Jeder Körper nimmt ständig Energie durch Strahlung auf und gibt welche ab.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

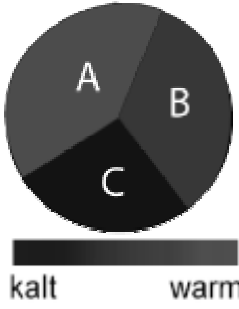
Formen des Energieübertrags

Kreuze an, was für die Grafik zutrifft!

25.		richtig	weiß nicht	falsch
	Die Lufttemperatur ist höher als die des Schneemanns.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Die Temperatur des Bodens ist höher als die des Schneemanns.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	Die Temperatur der Luft ist höher als die des Bodens.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wärmeleitung

Kreuze an.

26.			richtig	weiß nicht	falsch
Eine Eisenkugel hat drei Bereiche unterschiedlicher Temperatur. Energie fließt von:		Bereich A nach B.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Bereich C nach B.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		Bereich A nach C.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ströme

Kreuze an.

27.		richtig	weiß nicht	falsch
In der Elektrizitätslehre gibt es folgende Formel: $I = \frac{\sigma \cdot A \cdot U}{l}$ Damit lässt sich der Strom I durch einen Leiter bestimmen. σ ist die elektrische Leitfähigkeit. A ist die Querschnittsfläche des Leiters. U ist die angelegte Spannung. l ist die Länge des Leiters.	I verdoppelt sich, wenn man σ verdoppelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	I verdoppelt sich, wenn man A verdoppelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	I verdoppelt sich, wenn man l verdoppelt.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Weitere Fragen

28. Mit welchen Prozessen des Energieübertrags müssen gleichwarme Tiere in den drei folgenden Lebensräumen zurechtkommen? Erkläre, mit welchen Strategien die Auskühlung vermieden werden kann.

Nord-Atlantik: Wassertemperaturen durchschnittlich von 4–10 °C.	Patagonien / Feuerland: Südzipfel Südamerikas mit starkem Wind und Niederschlägen.	Alpen: Hochtal mit niedrigen Temperaturen.
Prozess:	Prozess:	Prozess:
Strategie gegen Auskühlung:	Strategie gegen Auskühlung:	Strategie gegen Auskühlung:

29. Bei welchem der beiden Tiere werden mit einer Infrarot-Kamera die Kontraste deutlicher, wenn beide im Schnee stehen: Bei einem Eisbär oder bei einem Dobermann? Begründe.



☐ Bei dem Eisbär, weil _____.



☐ Bei dem Dobermann, weil _____.

30. Weshalb verfügt der Eisbär über eine schwarze Haut? Begründe.

31. Wenn du ein gleichwarmes Tier in Mitteleuropa wärst: Wohin würdest du im Winter „umziehen“?



Markiere die gekennzeichneten Felder in der Karte und begründe deine Auswahl.

32. Ein Graureiher steht auch im Winter lange Zeit mit den Beinen im kalten Wasser: Warum nimmt die Körpertemperatur dennoch nicht ab?



Trage hier deine **Klasse** und dein **Geschlecht** (**m** = männlich, **w** = weiblich) ein.

Klasse : Geschlecht:

Trage hier bitte **nur die Anfangsbuchstaben der Vornamen deiner Mutter und deines Vaters** ein.

(z.B. Tanja, Achim = T, A) Anfangsbuchstabe des Vornamens der Mutter: des Vaters:

Trage hier bitte **nur den Tag** deines **Geburtsdatums** ein

(z.B. 12, wenn du am 12.11.1987 Geburtstag hast) Geburtstag :

Gruppe A

Fotografieren mit einer virtuellen Kamera (Arbeitsheft)



Vorab

Schieße Fotos vom Pendel und den Münzen. Fotografiere sowohl mit der Modellkamera als auch mit der richtigen Kamera. Ergeben unterschiedliche Einstellungen wirklich unterschiedliche Bilder? Schau mit der Lupe ganz genau hin. Du solltest am Ende wissen, was du alles verändern und beobachten kannst.

Arbeite zuerst mit der „richtigen Kamera“. Wähle zuerst die Münzen als Gegenstand.

Aufgabe Nr. 1

Stelle Blendenzahl 4 ein.
Verändere nun schrittweise die Belichtungszeit.
Stimmen deine Ergebnisse mit der Tabelle überein?

Belichtungszeit	Bildhelligkeit
1/250 s	dunkel
1/60 s	mittel
1/15 s	hell

Aufgabe Nr. 2

Stelle nun die Belichtungszeit 1/60 s ein.
Verändere nun schrittweise die Blendenzahl und ergänze die Tabelle.
(hell, mittel)

Blendenzahl	Bildhelligkeit
8	dunkel
4	
2	

Aufgabe Nr. 3

Fotografiere nun das hellste und das dunkelste Bild. Trage die Werte in die Tabelle ein:

Bild besonders	hell	dunkel
Blendenzahl:		
Belichtungszeit:		

Aufgabe Nr. 4

Fotografiere nun drei Bilder mit der gleichen Helligkeit aber unterschiedlicher Einstellung von Blendenzahl und Belichtungszeit. Ergänze die Tabelle.

Drei Bilder mit gleicher Helligkeit			
Blendenzahl:	2	4	8
Belichtungszeit:	1/250 s		

Wechsle nun zwischen Modell und Kamera hin und her. Bleibe bei den Münzen als Gegenstand.

Aufgabe 5)

Stelle folgende Werte der Kamera ein, wechsle dann jeweils zum Modell und ergänze die Tabelle mit folgenden Werten:

Belichtungszeit: 1/60 s, 1/15 s

Blendenzahl: 2, 8

Verschluss nur kurz geöffnet	1/250 s
Verschluss mittellang geöffnet	
Verschluss lang geöffnet	
Kleines Loch in der Blende	
Mittleres Loch in der Blende	4
Großes Loch in der Blende	

Arbeite nun mit den Münzen als Gegenstand im Modell.

Aufgabe Nr. 6

Stelle nun die mittlere Öffnungszeit des Verschlusses und das mittelgroße Loch in der Blende ein. Klicke die vordere, die mittlere und die hintere Münze an. Wie scharf ist jeweils die Münze. Ergänze die Tabelle mit den vorgegeben Begriffen: scharf, unscharf, flächig, punktförmig

	Abbildung	Schnittfläche der Lichtstrahlen mit dem Film
hintere Münze	unscharf	flächig
mittlere Münze		
vordere Münze		

Aufgabe Nr. 7

Ordne folgende Begriffe den Lochgrößen der Blende zu:
ziemlich scharf,
etwas unscharf,
völlig unscharf
Wähle dazu eine beliebige Belichtungszeit.

Lochgröße	Hintere Münze und Vordere Münze
Großes Loch in der Blende	
Mittleres Loch in der Blende	
Kleines Loch in der Blende	

Wähle nun das Pendel als Gegenstand.

Aufgabe Nr. 8

Ordne folgende Begriffe der Belichtungszeit zu:
ziemlich scharf, unscharf,
völlig unscharf

Wähle dazu eine beliebige Blendenzahl.

Belichtungszeit	Pendel
Lange Belichtungszeit	
Mittlere Belichtungszeit	
Kurze Belichtungszeit	

Vielen Dank für deine Mitarbeit!

Trage hier deine **Klasse** und dein **Geschlecht** (**m** = männlich, **w** = weiblich) ein.

Klasse :

Geschlecht:

Trage hier bitte **nur die Anfangsbuchstaben der Vornamen deiner Mutter und deines Vaters** ein.

(z.B. Tanja, Achim = T, A) Anfangsbuchstabe des Vornamens der Mutter: des Vaters:

Trage hier bitte **nur den Tag** deines **Geburtsdatums** ein

(z.B. 12, wenn du am 12.11.1987 Geburtstag hast)

Geburtstag :

Gruppe B

Fotografieren mit einer virtuellen Kamera (Arbeitsheft)



Vorab

Schieße Fotos vom Pendel und den Münzen. Fotografiere sowohl mit der Modellkamera als auch mit der richtigen Kamera. Ergeben unterschiedliche Einstellungen wirklich unterschiedliche Bilder? Schau mit der Lupe ganz genau hin. Du solltest am Ende wissen, was du alles verändern und beobachten kannst.

Bearbeite nun die Aufgaben.

Aufgabe 1)

Gib, **bevor du es ausprobiert hast**, einen Tipp ab, wie du das dunkelste Bild und das hellste Bild mit den Münzen einstellen würdest.

Bild besonders	hell	dunkel
Blendenzahl:		
Belichtungszeit:		

Aufgabe 2)

Fotografiere nun das hellste und das dunkelste Bild nach deinen Einstellungen von Aufgabe 2. Hat dein Tipp wirklich gestimmt? Wenn nein, verbessere deinen Vorschlag.

Aufgabe 3)

Ordne, **bevor du es ausprobiert hast**, folgende Werte der Kamera dem Modell zu und trage sie in die Tabelle ein.

Belichtungszeit: 1/250 s, 1/60 s, 1/15 s
Blendenzahl: 2, 4, 8

Kleines Loch in der Blende	
Verschluss mittellang geöffnet	
Großes Loch in der Blende	
Verschluss nur kurz geöffnet	
Mittleres Loch in der Blende	
Verschluss lang geöffnet	

Überprüfe nun deine Vermutungen und korrigiere die Werte, indem du bei allen Einstellungen von der Kamera ins Modell wechselst.

Aufgabe 4)

Welche unterschiedlichen Möglichkeiten, ein Bild heller zu machen, hast du bereits kennen gelernt?

Notiere zwei Sätze und überprüfe sie.

1)

2)

Aufgabe 5)

Fotografiere nun dreimal die Münzen mit unterschiedlichen Einstellungen der Blendenzahl und Belichtungszeit, aber so, dass die Bilder gleich hell sind. Trage die Werte rechts ein. Was sind die Unterschiede in den Bildern? Untersuche sie mit der Lupe und formuliere einen Satz.	Drei Bilder mit gleicher Helligkeit			
	Blendenzahl:			
	Belichtungszeit			
	Der Unterschied ist:...			

Aufgabe 6)

Unter welchen Bedingungen ist bei den Münzen als Gegenstand welcher Teil des Bildes scharf?

Im Modell mit den Strahlen kannst du dies daran erkennen, wie die Strahlen auf den Film auftreffen. Was fällt dir am Lichtkegel auf, wenn du ihn mit den Bildern an dieser Stelle vergleichst? Vervollständige den Satz:

Ein Punkt des Gegenstandes wird dann scharf abgebildet, wenn der Lichtkegel ...

Aufgabe 7)

Versuche mit dem Modell herauszufinden, wie du mit der Wahl eines geeigneten Lochs in der Blende erreichen kannst, dass alle drei Münzen möglichst scharf sind. Verwende zum Beurteilen der Münzen die Lupe. Kann man hier mit der Belichtungszeit die Schärfe ändern? Formuliere dann einen Satz:

Um sowohl Vorder- als auch Hintergrund scharf zu bekommen, muss man....

Aufgabe 8)

Versuche nun das Pendel möglichst scharf abzubilden. Was fällt dir im Gegensatz zu den Versuchen mit den Münzen auf? Was ist hier entscheidend: die Belichtung oder die Blende? Notiere einen Satz.

Trage hier deine **Klasse** und dein **Geschlecht** (**m** = männlich, **w** = weiblich) ein.

Klasse :

Geschlecht:

Trage hier bitte **nur die Anfangsbuchstaben der Vornamen deiner Mutter und deines Vaters** ein.

(z.B. Tanja, Achim = T, A)

Anfangsbuchstabe des Vornamens der Mutter:

des Vaters:

Trage hier bitte **nur den Tag** deines **Geburtsdatums** ein

(z.B. 12, wenn du am 12.11.1987 Geburtstag hast)

Geburtstag :

Fragebogen zum Fotografieren (Nachtest)



Kreuze die richtige Lösung an.
Es gibt jeweils genau eine richtige Lösung.
Mache bei jeder Aufgabe ein Kreuz, auch wenn du bei der Lösung nicht sicher bist.

Nr. 1

Die Belichtungszeit von 1/60 s ergibt ein...	... helleres Bild als eine Belichtungszeit von 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
	... gleich helles Bild wie eine Belichtungszeit von 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
	... dunkleres Bild als eine Belichtungszeit von 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
	... dunkleres Bild als eine Belichtungszeit von 1/250 s.	<input type="checkbox"/>
	... gleich helles Bild wie eine Belichtungszeit von 1/250 s.	<input type="checkbox"/>

Nr. 2

Wählst du eine größere Blendenzahl, dann...	... wird das ganze Bild heller.	<input type="checkbox"/>
	... wird nur der Hintergrund im Bild heller.	<input type="checkbox"/>
	... bleibt die Helligkeit des Bildes gleich.	<input type="checkbox"/>
	... wird das ganze Bild dunkler.	<input type="checkbox"/>
	... wird nur der Hintergrund im Bild dunkler.	<input type="checkbox"/>

Nr. 3

Von jedem Punkt eines Gegenstands geht ein Lichtkegel aus. Dieser wird durch die Linse gebündelt. Ein kleines Loch in der Blende macht den Lichtkegel, der auf den Film fällt schlanker.	<input type="checkbox"/>
	... breiter.	<input type="checkbox"/>
	... kürzer.	<input type="checkbox"/>
	... länger.	<input type="checkbox"/>
	Keine der vier Antworten ist richtig.	<input type="checkbox"/>

Nr. 4

Von jedem Punkt eines Gegenstands geht ein Lichtkegel aus. Dieser wird durch die Linse gebündelt. Ist der Verschluss nur kurz geöffnet, wird der Lichtkegel, der auf den Film fällt...	... schlanker.	<input type="checkbox"/>
	... breiter.	<input type="checkbox"/>
	... kürzer.	<input type="checkbox"/>
	... länger.	<input type="checkbox"/>
	Keine der vier Antworten ist richtig.	<input type="checkbox"/>

Nr. 5

Wählst du eine große Blendenzahl, dann wird das Loch in der Blende groß.	<input type="checkbox"/>
	... kommen weitere Löcher in der Blende hinzu.	<input type="checkbox"/>
	... verändert sich das Loch in der Blende nicht.	<input type="checkbox"/>
	... wird das Loch in der Blende klein.	<input type="checkbox"/>
	Keine der vier Antworten ist richtig.	<input type="checkbox"/>

Nr. 6

Eine Belichtungszeit von 1/60 s lässt den Verschluss länger geöffnet als eine Belichtungszeit von 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
	... gleich lang geöffnet wie eine Belichtungszeit von 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
	... länger geöffnet als eine Belichtungszeit von 1/250 s.	<input type="checkbox"/>
	... gleich lang geöffnet wie eine Belichtungszeit von 1/250 s	<input type="checkbox"/>
	Keine der vier Antworten ist richtig.	<input type="checkbox"/>


Nr. 7

Ein Foto ist mit der Belichtungszeit 1/60 s und Blendenzahl 4 aufgenommen worden. Gleich hell ist ein Foto mit Belichtungszeit 1/15 s und Blendenzahl 2.	<input type="checkbox"/>
	... Belichtungszeit 1/15 s und Blendenzahl 4	<input type="checkbox"/>
	... Belichtungszeit 1/60 s und Blendenzahl 2.	<input type="checkbox"/>
	... Belichtungszeit 1/60 s und Blendenzahl 8.	<input type="checkbox"/>
	Keine der vier Antworten ist richtig.	<input type="checkbox"/>


Nr. 8

Folgende Einstellung ergibt das dunkelste Bild:	Kleines Loch in der Blende und Verschluss kurz geöffnet.	<input type="checkbox"/>
	Kleines Loch in der Blende und Verschluss lang geöffnet.	<input type="checkbox"/>
	Mittleres Loch in der Blende und Verschluss lang geöffnet.	<input type="checkbox"/>
	Großes Loch in der Blende und Verschluss kurz geöffnet	<input type="checkbox"/>
	Großes Loch in der Blende und Verschluss lang geöffnet.	<input type="checkbox"/>


Nr. 9

<p>Du willst das Gesicht deiner Mitschülerin im Vordergrund vor einer entfernten Berglandschaft im Hintergrund fotografieren. Dabei soll sowohl das Gesicht als auch die Berglandschaft möglichst scharf abgebildet werden. Dazu wählst du ...</p> 	... Blendenzahl 2 und eine daran angepasste Belichtungszeit.	<input type="checkbox"/>
	... Blendenzahl 4 und eine daran angepasste Belichtungszeit.	<input type="checkbox"/>
	... Blendenzahl 4 und Belichtungszeit 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
	... Blendenzahl 4 und Belichtungszeit 1/250 s.	<input type="checkbox"/>
	... Blendenzahl 8 und eine daran angepasste Belichtungszeit.	<input type="checkbox"/>

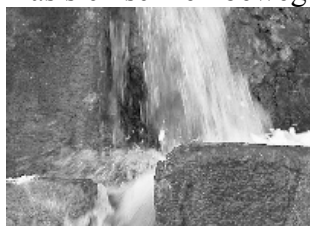





Nr. 10

 <p>Du willst einen schnell fahrenden Rennradfahrer so fotografieren, dass dieser möglichst scharf abgebildet wird. Dazu wählst du eine ...</p>	... kurze Öffnungsdauer des Verschlusses und eine daran angepasste Größe des Lochs in der Blende.	<input type="checkbox"/>
	... mittlere Öffnungsdauer des Verschlusses und eine daran angepasste Größe des Lochs in der Blende.	<input type="checkbox"/>
	... mittlere Öffnungsdauer des Verschlusses und ein kleines Loch in der Blende.	<input type="checkbox"/>
	... mittlere Öffnungsdauer des Verschlusses und ein großes Loch in der Blende.	<input type="checkbox"/>
	... lange Öffnungsdauer des Verschlusses und eine daran angepasste Größe des Lochs in der Blende.	<input type="checkbox"/>

Nr. 11

	Die Himbeere wurde mit Blendenzahl 4 und Belichtungszeit 1/250 s fotografiert. Das Foto soll heller <u>und</u> im Hintergrund schärfer werden. Um dies zu erreichen, wählst du....	... Blendenzahl 2 und Belichtungszeit 1/60 s.	<input type="checkbox"/>
		... Blendenzahl 2 und Belichtungszeit 1/250 s.	<input type="checkbox"/>
		... Blendenzahl 4 und Belichtungszeit 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
		... Blendenzahl 8 und Belichtungszeit 1/15 s.	<input type="checkbox"/>
		... Blendenzahl 8 und Belichtungszeit 1/60 s.	<input type="checkbox"/>

Nr. 12

<p>Das sich schnell bewegende Wasser</p>  <p>wurde mit mittelgroßem Loch in der Blende und mittlerer Öffnungsdauer des Verschlusses aufgenommen.</p> <p>Welches ist das Bild rechts, das mit kürzerer Öffnungsdauer des Verschlusses und einem gleich großen Loch in der Blende aufgenommen wurde?</p>		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>

Danke für deine Mitarbeit ☺